

**PETER BURKOWITZ**

534.143:53.084.842

## **Beitrag zu einer wissenschaftlichen Grundlage der Einkanal-Schallübertragung**

*(Kritische Betrachtungen über Verfahrensgrundlage und praktische Probleme der Aufnahme  
und Einkanalübertragung musikalischer Schallvorgänge)*

Jedes Sachgebiet, das in irgendeiner Form mit physikalischen Wirkungen operiert, benötigt wissenschaftliche Grundlagen. Ein solches Sachgebiet ist auch die Aufnahme und Einkanalübertragung von Schallvorgängen. Die akustischen und fernmeldetechnischen Einrichtungen, mit deren Hilfe Schallaufnahmen hergestellt werden, gehen aus Sachgebieten hervor, die bereits über wissenschaftliche Grundlagen verfügen. Die Einkanal-Schallübertragung an sich als physikalisch selbständiges sowie kommerziell und publizistisch bedeutendes Sachgebiet entbehrt bisher einer umfassenden Grundlage, so daß die verschiedenen Erscheinungen und Zusammenhänge innerhalb dieses Sachgebietes vorwiegend labil gewertet und gehandhabt werden.

Mit der vorliegenden Arbeit unternimmt der Verfasser den Versuch, wesentliche Erscheinungen und Zusammenhänge (Beziehungen zwischen physikalisch-technischen Größen einerseits und physiologischen als auch psychologischen Wertungen der Schallempfindung andererseits) zu systematisieren, um somit zur Schaffung einer allgemein zuständigen Grundlage in diesem Sachgebiet beizutragen.

### **Einleitung**

Die Aufnahme und Einkanalübertragung musikalischer Schallvorgänge und die damit verbundenen raumakustischen, physiologischen und hörpsychologischen Probleme beginnen zu einem vielerörterten wissenschaftlichen Diskussionsstoff zu werden, nachdem sich herausgestellt hat, daß die Breitbandtechnik allein noch kein sicheres Hilfsmittel für eine überzeugende Einkanal-Interpretation aller wichtigen musikalischen Klang- und Ausdruckselemente ist. Diese Umstände widerlegen offenbar die herkömmliche

Ansicht, daß die Verbesserung des Übertragungsergebnisses eine vorwiegend technische Aufgabe sei. Die eingehende Auseinandersetzung mit allen einschlägigen Fragen wird vielmehr zu der klaren Erkenntnis führen, daß die gebräuchlichen Kriterien für die Beurteilung einer Übertragung, wie Bandbreite, Frequenzgang, Klirrfaktor und Phasenlage, zwar den niederfrequenztechnischen Gütegrad der Übertragung kennzeichnen können, daß weiterhin aber ein technisch hochgezüchteter Gütegrad, besonders in bezug auf Bandbreite, linearen Frequenzgang und Phasenlage, durchaus nicht entscheidend sein muß, wenn es sich darum handelt, festzustellen, ob die Einkanal-, „Abbildung“ die primären (musikalischen und subjektiven) Forderungen an eine Übertragung erfüllt.

In dieser Aussage ist auch die Möglichkeit eingeschlossen, daß die primären (Klang-) Forderungen durch fernmeldetechnische Verbesserungen nicht nur gefördert, sondern unter Umständen auch geschädigt werden können.

Als wesentliche Erweiterung der gebräuchlichen, vorwiegend fernmeldetechnischen Betrachtungsweise wird hierzu festzustellen sein, daß die Einkanalübertragung musikalischer Schallvorgänge in erster Linie eine Angelegenheit physiologischer und psychologischer Wertungen oder Umwertungen von unnatürlichen, d. h. mit technischen Übertragungsmitteln bewerkstelligten Sinnes-(Hör-)Reizen ist. Diese künstlich ausgelösten Wertungen bzw. Umwertungen weichen charakteristisch und definierbar von der natürlichen Hörwertung ab. Art und Ausmaß der Abweichungen sind an bestimmte physikalische und akustische Vorgänge gebunden. Die der Einkanalwahrnehmung am besten entsprechende Hörwertung ist hierbei aus bestimmten Merkmalen der natürlichen Hörwertung herzuleiten. Erst die physikalische Zuordnung dieser am meisten angemessenen Einkanalhörwertung liefert eine korrekte Grundlage für die Bemessung eines technisch und akustisch sinngemäßen Übertragungssystems.

Durch dieses Vorgehen wird der bisher strenggenommen beziehungslose technisch-akustische Anteil am Übertragungsvorgang (Einfluß der Übertragungskette einschließlich der Bemessung und Beurteilung der akustischen Glieder) zu optimaler und zugleich begrenzter Wirksamkeit eingeordnet. Eine kurzgefaßte Darstellung einiger schematischer Endergebnisse zu diesem Thema wurde in Heft 3/1952 dieser Zeitschrift unter dem Titel „Hörpsychologische Akustik“ veröffentlicht.

Im folgenden I. Teil wird mit der Behandlung im einzelnen begonnen. Es wird zunächst auf die allgemeinen Kernfragen des Übertragungsproblems eingegangen (Definition der Hörwertungen) und sodann gezeigt, wie die wesentlichsten Hörwertungen auf physikalische Beziehungen zurückgeführt und so der sinngemäßen Behandlung durch ein notwendigerweise technisch kontrolliertes Übertragungssystem zugänglich gemacht werden können.

Der erste Teil wird wie folgt gegliedert:

## I. Grundlagen

gegenwärtige Situation, ihr Zustandekommen, Entwicklung der Anforderungen, die erweiterte theoretische Grundlage.

## II. Hörpsychologische Probleme

- 1 ausgeglichene Klangkörper
- 2 unausgeglichene Klangkörper



- 3 Klangforderungen und Klangfehler
- 31 Lautstärkenbalance
- 32 Raumfüllung
- 33 Konturenschärfe
- 34 physiologische Anpassung
- 35 Betrachtungen zur Breitbandübertragung
- Schlußbemerkungen und Zusammenfassung

## I. Grundlagen

Die Übertragung von Schall ist bis heute in Grundsatz und Ausführung eine vorwiegend niederfrequenztechnische Betriebsangelegenheit. Diese Lage rührt von dem ursprünglich einseitig technischen Ausgangspunkt des eingeführten Verfahrens her. Drei Gründe sind für das Vorhandensein eines einseitig technischen Ausgangspunktes verantwortlich:

- a) Die Übertragung von Schall geschieht mit Hilfe technischer Einrichtungen. Die Entwicklung technischer Einrichtungen erfordert eine genaue, d. h. physikalische oder mathematische Unterlage.

Die allgemeine Aufgabe „Klang“ zu übertragen, enthält jedoch noch keine ausreichend objektive Grundlage.

Aus dem allgemeinen Begriff „Klang“ muß also zur Grundlagenbildung der physikalische Inhalt dieses Begriffes isoliert werden. Hierfür liefert die Akustik genaue Erklärungen, die dem physikalischen Interesse an diesem Begriff durchaus genügen: Klang entspricht den physikalischen Eigenschaften eines Schallfeldes (Schwingungsgemisch aus Grundtönen und deren Harmonischen).

Diese physikalische Definition eines Schallgemisches als Klang liegt jedoch auf einer meßtechnischen Ebene und reicht bei weitem nicht aus, um die subjektiven Begriffe der „Klangwahrnehmung“ und „Klangwertung“ zu erfassen, die beide das eigentliche Endglied jeder Klangübertragung bilden.

- b) Es wird nach herkömmlicher Ansicht vorausgesetzt, daß ein Schallfeld nach der Abstrahlung vom Klangkörper bereits die für das Ohr des Zuhörers bestimmte akustisch-künstlerische Ausgeglichenheit hat.
- c) Einzelheiten über Beziehungen zwischen individuellem Übermittlungsinhalt, individueller Schallempfindung und den Eigenschaften des physikalischen Übermittlungsträgers sind bisher nicht ausreichend bekannt oder beachtet.

Nach diesen Gegebenheiten mußte die Aufgabe der *übertragungs-technischen* Entwicklung bestehen:

- d) in der Konstruktion frequenzunabhängiger Übertragungsglieder mit dem Ziel der Breitbandeigenschaften;
- e) in der Erfassung der Schallfelder an einem günstigen Punkt im Raum und ihrer größengleichen, möglichst nicht betriebsgeregelten Weiterleitung zum Wiedergabeort;
- f) in der Ermittlung akustischer Daten, die unter diesen Bedingungen (e) meßtechnisch möglichst frequenzgerade (lineare) Ausgangsspannungen am Schallempfänger liefern — ohne Rücksicht auf bestimmte reflektiert/direkt Verhältnisse.

Nach diesen Gesichtspunkten entwickelte Geräte und akustische Einrichtungen sind geeignet, innerhalb des aufgezeigten Rahmens liegende Aufgaben technisch einwand-

frei zu lösen (Übertragung einer Schallkenngröße innerhalb des gesamten Hörbereiches).

Nun besteht jedoch der wesentlichere Teil des übertragungstechnisch zu verarbeitenden Geschehens zunächst weniger aus physikalischen, als vielmehr aus künstlerischen, klanglich-ästhetischen und fachmusikalischen Aufgaben sowie deren publikumswirksamer Lösung mit Hilfe technischen Werkzeuges. Oder anders ausgedrückt: Dem Ausübenden vom Musiker bis zum Produzenten und ebenso dem Hörer ist es trotz erweckter Einzelinteressen gleichgültig und letzten Endes nichtssagend, welche Frequenzen in der Wiedergabe enthalten sind, und ob diese nun schematisch linear oder den jeweiligen Verhältnissen angepaßt übertragen werden. Interessant ist lediglich, ob eine Stimme oder ein Orchester ein typisch bzw. persönlich klangbetontes und vor allem in sich geschlossenes Timbre behält; ob das Verhältnis zwischen Geräuschen, Obertönen und dem eigentlichen Klangkern (Grundtonspektrum) lautstärkenmäßig, akustisch und klangästhetisch glaubhaft wirkt bzw. überzeugt; ob die Instrumente eines Orchesters subjektiv ebenso konturenscharf, geräuscharm, klangintensiv und typisch zu hören sind wie beim Originaleindruck mit unbewußter Zuhilfenahme des Gesichtssinnes; ob alle Klänge und Klanganteile, also auch die Formantreihe eines Orchesters, ähnlich dem Originaleindruck vom gleichen scheinbaren Ort innerhalb einer akustischen Umwelt herkommen und trotzdem zwischen den Einzelklängen völlige Durchsichtigkeit in den akustischen Hintergrund dieser Umwelt hinein herrscht (Begriff der Einkanalplastik); ob Ausdehnung und Klangfärbung der akustischen Umwelt dem Stil der Darbietung entsprechen und schließlich vom fachmusikalischen Standpunkt, ob der Grundgedanke einer Partitur in jeder Phase verwirklicht ist. Da Notenbild und Klangwahrnehmung bzw. Klangvorstellung aber keine innerlich getrennten Begriffe sind, ist die letztere Frage nur dann günstig zu beantworten, wenn die vorstehenden Forderungen weitgehend erfüllt sind.

Solche Forderungen — weiterhin auch „Klangforderungen“ genannt — drücken den Inhalt oder die Folgerungen von Einkanalhörwertungen aus, wie sie später als allgemeine Wertungen (Lautstärkenbalance, Raumfüllung, Konturenschärfe, physiologische Anpassung) oder als hörpsychologische Grundbewertungen (Tonhöhe, Lautstärke, Lokalisation, Akustik) gegliedert werden.

Diese Hörwertungen enthalten die eigentlich wichtigen (primären) Kriterien für die Güte einer Einkanalübertragung. Als akustische und technische Glieder der Übertragungskette sind alle Einrichtungen geeignet, die das Zustandekommen der erforderlichen Hörwertungen unterstützen.

Neben diesem ganz allgemein für jede Übertragung und vor rein technischer Bewertung gültigen Maßstab der Klangforderungen erfordert die Vollständigkeit der Betrachtung eine Rücksichtnahme auf Darbietungen, deren musikalische und klangliche Struktur eine sinngemäße Behandlung nach (e) überhaupt nicht zuläßt. Diese ganz anders aufgebauten Darbietungen gehören zu der Gruppe der unausgeglichene Besetzungen, deren Klangbild erst nach Durchlaufen technischer Einrichtungen die erforderliche bzw. erwünschte innere Ausgeglichenheit erhält. Die bereits konsolidierte Existenz unausgeglichener Klangkörper und der entsprechenden Darbietungen ist u. a. auf die unbehinderte Praxis des künstlichen Lautstärkeausgleiches mittels beliebiger Schallempfangsanordnungen zurückzuführen. Ihre künstlerische Berechtigung kann daraus



hergeleitet werden, daß nach Fortfall des visuellen Eindrucks der Wahl akustischer Ausdrucksmöglichkeiten keine natürlichen Grenzen mehr gesetzt sind. Es werden demnach alle musikalischen Formen, auch solche, die nur einem Effekt oder anderen übergeordneten Zwecken dienen, zur Übertragung angeboten werden.

Die Aufgabe der technisch-akustisch richtigen Interpretation kann sich also nicht nach Herkunft oder Renommee einer Musik einrichten. Ebenso kann es demnach keine grundsätzlich aufnahmetechnische Kompetenzfrage sein, ob eine Darbietung schon im Original akustisch ausgeglichen sein muß; abgesehen davon, daß natürlich auch im Falle vollendeter technisch-akustischer Voraussetzungen gewisse musikalische oder spieltechnische Grundsätze gewahrt sein müssen.

Ferner gehören zu Aufgaben, die von (e) abweichen, alle Darbietungen, deren Dynamikumfang eine Betriebsregelung erfordert. Voraussetzungen (d, e, f) und Aufgaben stehen also in weitem Umfang miteinander im Widerspruch oder sind zumindest nicht ausreichend aufeinander abgestimmt. Demzufolge hat der Einsatz hochentwickelter Geräte (frequenzunabhängiger Breitband-, Misch- und Wiedergabeeinrichtungen) bisher nicht den überzeugenden Beweis erbringen können, daß allein schon der niederfrequenztechnische Fortschritt in jedem Fall mit einer entsprechenden Verbesserung des Hörerergebnisses verbunden sein muß.

Nach der theoretischen Betrachtung ebenso wie nach dem Höreindruck sind zwei Gruppen von Störungen der Schallempfindung zu unterscheiden:

1. Klangfehler durch Anwendung der funktionsgebundenen technischen Mittel außerhalb der bezeichneten Grenzen (s. Buchst. e und unausgegl. Besetz.).
2. Klangfehler durch Nichtbeachtung von Zusammenhängen nach c) (s. auch Klangforderungen).

Fehlwirkungen zu 1. beziehen sich vor allem auf physiologische Verzerrungen nach e):

- e1. durch frequenzunabhängige Mischung unausgeglichener Darbietungen;
- e2. durch frequenzunabhängige Dynamikregelung;
- e3. durch zeitliche Folge von frequenzunabhängig gleichgepegelten, ursprünglich jedoch verschieden lautstarken Darbietungen.

Fehlwirkungen zu 2. beruhen u. a. auf qualitative Umwertungen der Schallempfindung bei Fortfall der stereofonischen Komponente.

Die aufgezeigten Verhältnisse lassen erkennen, daß eine Erweiterung des vorhandenen, aber offensichtlich noch unvollständigen Einkanalverfahrens ohne weiteres möglich sein muß und daß hierfür vor allem der Bereich c) erschlossen und objektiviert werden muß (physikalische Zuordnung der Klangforderungen). Das soll mit den folgenden Ausführungen unternommen werden.

### *Die erweiterte theoretische Grundlage*

Zunächst ist ein möglichst wenig anfechtbarer Ausgangspunkt zu schaffen. Das hier um so mehr, als es sich darum handelt, subjektive Begriffe auf physikalische Zusammenhänge zu beziehen. Es wird also schon genügen, eine grundsätzliche Bestätigung dafür zu erbringen — was nach eingebürgerter Ansicht durchaus noch nicht festzustehen scheint —, daß subjektive Wertungen und physikalische Größen im Bereich der Einkanalübertragung in ganz bestimmter Form voneinander abhängig sind.

Das Leitmotiv für die Entwicklung hochwertiger Schallübertragungs- und Aufnahmeeinrichtungen ist die naturgetreue Übermittlung eines akustischen Geschehens nach einem beliebigen Ort und nach Ablauf einer beliebigen Zeit. Es handelt sich also darum, daß zwischen Schallerzeugung und Schallwahrnehmung eine Übertragungs- oder Speicherungsmittel eingeschoben werden muß. Die natürliche Verbindung zwischen Schallerzeugung und Schallwahrnehmung wird damit räumlich oder räumlich und zeitlich künstlich verlängert.

Der Sachverhalt einer „Verbindung“ schlechthin drückt aus, daß der Inhalt einer Darbietung auf einem natürlichen oder künstlichen Wege zu einem Teilnehmer gelangt. Dem tatsächlichen Vorgang entsprechend wird also definiert, daß dieser Inhalt sich zusammensetzen soll aus

- ① einem „*physikalischen Komplex*“  
bestehend aus Schwingungsgemischen (absoluten Intensitäten, relativen Intensitäten und Phasenlagen), allgemein einem Übermittlungsträger, dessen Größen gesteuert werden durch bzw. steuern
- ② einen „*individuellen Komplex*“  
welcher zwei charakteristische Gruppen von Erscheinungen bzw. Wirkungen umschließt, nämlich die
- ③ „*subjektiven Komponenten*“  
auch weiterhin benannt: „physiologische und psychologische Wertungen“ (Wahrnehmung oder Beabsichtigung bzw. Erzeugung von Tonhöhe, Lautstärke, Lokalisation und Akustik)  
und
- ④ „*individuellen Komponenten*“  
(sonstige Wahrnehmungen und Empfindungen oder deren Beabsichtigung bzw. Erzeugung).

Der individuelle Komplex ① kennzeichnet eine Gesamtheit von unbestimmten Empfindungen, Wahrnehmungen und Eindrücken, auch solche seelischer, also nicht einheitlich formulierbarer Art.

Die subjektiven Komponenten ③ sind ein faßbarer Teil davon, und zwar sind es die als subjektive Sinneswahrnehmung definierbaren und prüfbaren Hörwertungen von Tonhöhe, Lautstärke, Lokalisation und Akustik.

Diese vier Hörwertungen werden weiterhin bezeichnet als

„Hörpsychologische Grundbewertungen“.

Die individuellen Komponenten ④ ergeben den Rest solcher Empfindungen, die zu ② gehören und nicht durch ③ ausgedrückt sind.

Auf der Seite des Teilnehmers ruft der physikalische Komplex durch Sinneswahrnehmung seiner Größen wiederum einen individuellen Komplex hervor, der in subjektive und individuelle Komponenten gespalten ist. Dieser individuelle Komplex soll im Idealfall mit demjenigen übereinstimmen, von dem die Sinnesäußerungen der an der Darbietung maßgeblich Beteiligten gesteuert werden.

Das Vorhandensein einer Verbindung bedeutet damit also ohne Zweifel, daß ein individueller Komplex durch Aussendung und Empfang eines physikalischen Komplexes



übermittelt werden kann, und daß der individuelle Komplex auf dem Wege zum Teilnehmer sozusagen der Nachrichteninhalt und der physikalische Komplex der Träger ist. Hieraus ergibt sich weiterhin, daß die Beeinflussung des einen Komplexes, z. B. des physikalischen, eine Änderung beider Komponenten des individuellen Komplexes nach sich zieht, je nach Art und Umfang des Eingriffes.

Damit ist klaggestellt, daß eine niederfrequenztechnische Betrachtung des Übertragungsproblems allein nicht bestehen darf, und daß die technischen Daten der Übertragungskette sowie Eigenschaften der akustischen Glieder den Klangforderungen prinzipiell untergeordnet werden müßten.

Eine weitere Überlegung zu den Grenzen jedes möglichen Verfahrens ist noch anzustellen: Der physikalische Komplex kann strenggenommen nur als unbeeinflußt gelten, wenn gar kein Übermittlungsweg vorhanden ist; wenn also Quellpunkt und Empfangspunkt zusammenfallen. Diese Überlegung ist insofern von Interesse, als damit ausgesagt ist, daß der Idealfall der absolut übereinstimmenden individuellen Komplexe nur eintreten kann, wenn praktisch gar kein Übermittlungsträger vorhanden ist. Ohne Übermittlungsträger wird aber auch die Existenz eines Teilnehmers an sich unwirklich, woraus weiter zu folgern ist, daß schon der *Begriff* einer Übertragung (Verbindung) grundsätzlich eine Beeinflussung des Übermittlungsinhaltes einschließt und es also keine Absolutlösung geben kann, auch keine stereofonische.

Es ist anzunehmen, daß strenge Beziehungen zwischen dem gesamten individuellen und physikalischen Bereich vorhanden sind. Hiervon ist jedoch nur die Erfassung eines gewissen Teiles sinnvoll, und zwar die physikalische Zuordnung der hörpsychologischen Grundbewertungen, die offensichtlich nicht individuell willkürlich aufgefaßt werden, wie etwa Empfindungen nach @.

Bisher sind damit zwei Aufgaben klar umrissen: 1. die physikalische Zuordnung der Klangforderungen in bezug auf die Einkanalwiedergabe; 2. die physikalische Zuordnung der einkanal-umgewerteten Grundbewertungen.

Von diesen beiden Aufgaben wird zunächst die erste behandelt, während die zweite Aufgabe Inhalt einer anderen Arbeit sein wird.

Zuvor ist aber noch eine genaue Definition des Begriffes „Übertragung“ nötig. Es wurde anfangs zunächst schematisch vom Vorhandensein einer „Verbindung“ gesprochen. Diese Verbindung kann natürlich, d. h. unmittelbar erfolgen. Dann sind alle Sinneswahrnehmungen beteiligt, die individuell eingesetzt werden. Ob bewußt oder unbewußt, ist dabei nebensächlich.

Im Falle mittelbarer Verbindung soll von einer „Übertragung“ gesprochen werden. Diese Übertragung kann eine oder mehrere Sinneswahrnehmungen angehen, z. B. optische oder akustische oder beide. Im Falle rein akustischer Übertragung wird auf seiten des Hörers keine der in Aufmerksamkeit versetzten Sinneswahrnehmungen von der Darbietung unmittelbar in Anspruch genommen, außer der akustischen. Diese Einengung der Wahrnehmungsbasis ist hörpsychologisch sehr bedeutend. Von den beiden Mitteln zur Übertragung akustischer Vorgänge — mono-System und stereo-System — interessiert hier die erste Anordnung.

Die gesamte, künstlich verlängerte mittelbare Verbindung werde als „Übertragungsweg“ bezeichnet. Längs dieses Übertragungsweges gelangt der physikalische Komplex

vom Quellort zum Empfangsort. Die Gesamtheit der Medien und Vorrichtungen, die von physikalischen Größen auf diesem Wege durchlaufen wird, werde als „Übertragungskette“ bezeichnet. Ihr erstes Glied ist demnach die Schallquelle, ihr letztes das Ohr. Dazwischen liegen als Medien die akustischen Glieder und als Vorrichtungen die technischen Glieder.

Medien und Vorrichtungen ergeben eine ihnen gemäße Beeinflussung des physikalischen und damit auch des individuellen Komplexes. Hieraus können einerseits bei gegebenen Medien und Vorrichtungen Art und Umfang von Änderungen der subjektiven Komponente <sup>20</sup> hergeleitet werden oder andererseits diejenigen Eigenschaften der Medien und Vorrichtungen bestimmt werden, die dazu ausreichen würden, die gewünschten Eigenschaften der subjektiven Komponente zu erhalten oder gegebenenfalls intensiv auszubilden. (Z. B. Erhaltung der subjektiven Klangfarbenverteilung innerhalb des Direktspektrums; Erhaltung der Einschwingvorgänge.)

Um die physikalische Zuordnung der Klangforderungen beginnen zu können, müssen noch weitere Begriffe geklärt werden. Bis jetzt sind die Aufgaben umrissen und der Ausgangspunkt formuliert. Noch nicht genügend klar sind die Klangforderungen an sich und die Struktur der Klangkörper, die durch Erzeugung bestimmter Klangformen Veranlassung zur Formulierung von Klangforderungen geben. Die weiteren Betrachtungen müssen also mit einer kurzen Darstellung der Grundformen der Klangkörper beginnen und können sodann mit einer ausführlichen Klärung der Klangerscheinungen und Klangforderungen sowie Klangfehler zu deren physikalischer Zuordnung führen.

## II. Hörpsychologische Probleme

(Klangkörper, Klangerscheinungen, Klangforderungen, Klangfehler)

### II. 1 *Ausgeglichene Klangkörper*

Unter dieser Kategorie sind Anordnungen von Schallquellen zu verstehen, die entweder

1. im Ablauf einer künstlerischen Darbietung durch entsprechende Instrumentation oder durch geeignetes Arrangement so eingesetzt werden, daß die klanglichen Elemente in Gesamtwirkung und zeitlicher Folge einen nach Lautstärke und Dynamik überzeugenden und geschlossenen, d. h. bruchlosen Eindruck hinterlassen; oder die
2. von jeder Instrumentenart so viele Exemplare enthalten, daß die subjektive Lautstärken- und Dynamikempfindung von Instrumentengruppen, die vom musikalisch-akustischen Standpunkt aus gleichwertig sein sollen, an einem relativ weit vom Klangkörper entfernten Punkt miteinander übereinstimmen bzw. der kompositorischen oder interpretierenden Absicht entsprechen.

Der erste Fall betont mehr die Ausgeglichenheit der Instrumentation, der zweite mehr die akustische Gleichwertigkeit. Beide zusammen sind charakteristisch für die traditionelle Besetzung im Instrumental- oder Orchesterprogramm. Diese ausgeglichenen Besetzungen haben der bisherigen übertragungs-technischen Entwicklung zugrunde gelegen.

### II. 2 *Unausgeglichene Klangkörper*

Solche Besetzungen bestehen aus einer beliebigen Anzahl verschiedener Schallquellen, die entweder

1. mit Hilfe von Mikrofonanordnungen so zusammengefaßt werden, daß ein Ausgleich der akustischen Leistung aufnahmetechnisch herbeigeführt werden muß; oder die



2. so um einen Schallempfänger gruppiert werden, daß ein Ausgleich der akustischen Leistung durch die geometrische Anordnung im Raum erzielt wird.

Hier kommt als weiterer Fall hinzu:

3. die an sich ausgeglichene Besetzung, deren Instrumente aber so eingesetzt werden, daß die Bedingungen nach II. 1/1 nicht erfüllt werden.

Diese vorgenannten Besetzungen leisten einen erheblichen Teil aller Programme der kommerziellen Musikproduktion. Ihre Berechtigung ruht, außer auf den bisher schon angegebenen Gründen, auf eingeführten und konsolidierten Praktiken der typischen Mikrofonmusik, die im Gegensatz zur traditionellen Musik fast ausschließlich auf äußerst prägnant profilierte Klangkonturen um der Einzelheit willen abzielt.

### II. 3 Klangforderungen und Klangfehler

Nachdem Grundsätzliches über Aufbau und Einsatz der verschiedenen Klangkörper gesagt ist, kann untersucht werden, inwieweit die Klangforderungen mit den Klangbildern dieser Klangkörper nach einer Übertragung übereinstimmen können. Die Lösung dieser Frage sowie die Deutung und Herleitung der Klangforderungen wie ihre physikalische Zuordnung gehen dabei Hand in Hand.

Wenn man vom „Klang“ einer Schallquelle spricht, so meint man letzten Endes den gesamten klanglichen Eindruck (individuellen Komplex), den ein Schallfeld, das von dieser Schallquelle ausging, beim Hörer erzeugt. Unter dem Begriff „Klang“ wird hier also nicht eine lediglich physikalisch theoretische Eigenschaft des Schalles am Mikrofonort oder am Wiedergabeort verstanden, sondern eine Gesamtheit von Eindrücken, die im einzelnen häufig durch solche allgemeinen Bezeichnungen gekennzeichnet werden wie u.a. mit Durchsichtigkeit, Helligkeit, Glanz, Fülle usw. oder auch mit einer Skala bis zu deren Gegenteil (s. auch das zu Anfang über Klangforderungen Gesagte). Diese landläufigen Bezeichnungen enthalten mehr oder weniger zutreffende Umschreibungen für gewisse Reaktionen der Empfindung auf physikalische Einwirkungen. Solange diese Reaktionen mit hörpsychologischen Grundbewertungen in Zusammenhang stehen, ist ihre Gruppierung und physikalische Erklärung sinnvoll.

Es stehen hier also zwei weitere Aufgaben im Vordergrund:

1. die Kennzeichnung von klanglichen Grundeigenschaften, die ein Klangbild gleichzeitig oder in zeitlicher Folge aufweisen muß, um einen subjektiv überzeugenden Eindruck zu hinterlassen;
2. die Auffindung physikalischer Größen, die diesen klanglichen Grundeigenschaften entsprechen.

Die Kennzeichnung der Grundeigenschaften kann wiederum auf zwei Wegen erfolgen. Einmal objektiv, durch Herleitung vom natürlichen Hören bei unmittelbarer Verbindung, zum anderen durch Einbeziehen solcher geschmacklicher Wertungen, von denen angenommen werden kann, daß sie von einem breiten Durchschnitt einigermaßen hörbegabter Personen gefällt werden.

Zur Kennzeichnung der im folgenden behandelten klanglichen Grundeigenschaften muß bemerkt werden, daß hierfür eine verhältnismäßig ausführliche Darstellung notwendig ist, weil es für diese Dinge bisher keine ausreichend genauen Begriffsbestim-

mungen gibt. Solche genauen Begriffe sind aber Voraussetzung für eine zweifelsfreie Verständigung, vor allem wenn man berücksichtigt, daß die durchschnittliche und auch die bevorzugte, aber ungeschulte Hörveranlagung von Natur aus kein Unterscheidungsvermögen oder selektives Wahrnehmungsvermögen besitzt für die spektrale Verteilung der Frequenzen in einem Klangbild und für die direkt/reflektiert-Verhältnisse der klangbildenden Frequenzanteile in einem beliebig zusammengesetzten Klangspektrum. Die klanglichen Grundeigenschaften sowie die Klangforderungen und Klangfehler werden daher wie folgt gekennzeichnet:

## II. 3I *Lautstärkenbalance*

Eine der Grundbedingungen für die Wirksamkeit beliebiger Klangbilder ist eine ausgewogene Proportion der Lautstärken, d. h. erst einmal eine insgesamt annähernd gleichwertige Besetzung der verschiedenen lautstarken Instrumententypen und sodann eine richtige „innere Dynamik“ von der Tongebung her gesehen. Wie vorhin schon ausgeführt wurde, ist dieser Grundbedingung in einem übertragenen Klangbild besondere Bedeutung beizumessen, da die Aufmerksamkeit nur noch auf akustische Vorgänge gerichtet ist. Es muß also gegebenenfalls ein Lautstärkenausgleich vorgenommen werden, auch wenn ein solcher im Original gar nicht erforderlich scheint.

- a) Bei der ausgeglichenen Besetzung muß die Lautstärkenbalance an einem relativ weit von der Besetzung entfernten Punkt vorhanden sein;
- b) bei der unausgeglichenen Besetzung kann eine ausreichende Balance auch in größerer Entfernung auftreten, wenn die Instrumentation dementsprechend angelegt ist. Normalerweise wird das wegen der erwünschten musikalischen Wirkung (präzise Einzelklänge lautschwacher Instrumente oder Stimmen gegen ebenso präzise Einzel- oder Gruppenklänge lautstarker Quellen) nicht der Fall sein, so daß dann die Forderung besteht, unterschiedliche Lautstärken auf technischem Wege aneinander anzugleichen. Die Lösung dieser Aufgabe ist von Fall zu Fall verschieden, entsprechend der Vielzahl musikalischer Möglichkeiten.

Künstlich herbeigeführte Lautstärkenbalance muß jedoch ständig manuell beeinflußt bleiben, da die gewünschte innere Dynamik nach Ausführung eines solchen technischen Eingriffes (Polymikrofonie) nicht mehr ausschließlich beim Gestalter der Darbietung liegt.

Eine Übertragung wird dann am vorteilhaftesten wirken, wenn unabhängig von der Besetzung die Lautstärkenproportionen und die akustische Einordnung überzeugend wirken (das braucht nicht unbedingt gleichbedeutend zu sein mit „natürlich“). Bekanntlich ergeben sich jedoch schon bei mäßigen Eingriffen Klangfehler, vor allem in bezug auf die akustische Umwelt. Es ist auch selbstverständlich, daß die Lautstärkenbalance in gar keinem Falle abhängig sein dürfte von Tonhöhen, Abhörlautstärken oder von anderen technischen Einflüssen. Bereits diese einfachsten Forderungen könnten nur mit Hilfe von Zusatzeinrichtungen erfüllt werden, die in den gebräuchlichen Anlagen schon nicht mehr vorgesehen sind (s. hierzu auch II. 34).

Die Lautstärkenbalance ist diejenige Grundforderung, welche noch am ehesten auch von weniger hörbegabten Personen bemerkt wird. Daneben sind andere klangbestimmende Eigenschaften jedoch fast wichtiger, wenn auch ihre Voraussetzungen nicht so geläufig sind. Hier ist als nächste die



## II. 32 Raumfüllung

Von dieser Eigenschaft wird weitgehend die Klangschönheit einer künstlichen Wiedergabe bestimmt. Einzelinstrumente und ganze Klangkörper sind davon in gleicher Weise betroffen. Die Raumfüllung macht sich dadurch bemerkbar, daß neben dem direkten Klang der Instrumente ein „Mitklingen“ und „Nachklingen“ des Aufnahmerraumes zu hören ist. Der „direkte“ Klanganteil rührt vom direkten Schall des Klangkörpers her, der mit- oder nachklingende Klanganteil vom reflektierten Schall, der sich im Aufnahmerraum bildet. In den gebräuchlichen Raumgrößen nimmt dabei der reflektierte Schall schon bei verhältnismäßig geringen Mikrofonentfernungen gleiche Intensität an wie der direkte Schall (die Mikrofonentfernung, bei der Intensitätsgleichheit auftritt, wurde kürzlich von *Dr. H. Etzold* in Heft 4 dieser Zeitschrift als „kritischer Abstand  $d$ “ bezeichnet). Das Verhältnis der Intensitäten wird dabei nicht unwesentlich beeinflußt von der Richtungsabhängigkeit der abgestrahlten Schalleistung und von der Richtempfindlichkeit des Schallempfängers. Mit Rücksicht auf die ausgeprägte Reaktion der Hörwertung auf reflektiert/direkt Intensitäts- und Laufzeitverhältnisse und deren Frequenzabhängigkeit muß diesen Wirkungen noch ausführlich Raum gegeben werden. Hier sollen vorerst die Grundbegriffe weiter erörtert werden.

Das „Mitklingen“ ist für die subjektive Empfindung vom direkten Schall von entscheidender Bedeutung. Dieser Begriff wird deshalb aus der Gesamtwirkung des reflektierten Schalles bewußt abgeteilt.

Unter Mitklingen soll diejenige Klangwirkung des reflektierten Schalles verstanden werden, die schon während der musikalischen Einschwingvorgänge, mindestens jedoch während der gespielten Notenwerte, zum direkten Klang hinzutritt. Sollen die im wesentlichen in Einschwingvorgängen enthaltenen subtilen Klangelemente in ursprünglicher Konturenschärfe frequenzunabhängig erhalten bleiben (eine elementare Bedingung für gute Klangbilder), so darf eine Mindest-Laufzeitdifferenz reflektiert/direkt nicht unterschritten werden (etwa 60 ms bei einem angenommenen  $r/d$ - [Lautstärken-] Verhältnis von 1 stationär). In den üblichen, nicht bewußt akustisch gehörriecht gehaltenen Räumen hat das reflektiert-Spektrum dabei meistens eine vom direkt-Spektrum stark abweichende Klangfarbe. In der Praxis bedeutet das fast durchweg eine Überbetonung der Raumwirkung in den tieferen Mittellagen, landläufig bezeichnet als „topfiger“ Klang. In Anbetracht des meistens recht geringen „kritischen Abstandes“ sind diese üblichen Räume nur bei der Übertragung kleinerer Besetzungen bzw. bei kleinen Mikrofonabständen zufriedenstellend.

Günstig werden die Voraussetzungen erst in Räumen mit Inhalten über etwa 10000 m<sup>3</sup>, da der kritische Abstand dort in Größenordnungen rückt, die auch zur Erfassung größerer Schallquellen ausreichen. Außerdem lenkt die veränderte geometrische Anordnung (große Wandabstände) die Aufmerksamkeit mehr auf das „Nachklingen“ als auf das Mitklingen, so daß insgesamt die klangfärbende Wirkung des reflektiert-Spektrums um so geringer wird, je größer der Raum ist. Besonders die angegebene Mindest-Laufzeitdifferenz  $r/d$  für echte Reflektionen 1. Ordnung (Wandreflektionen) überschreitet bei zweckmäßiger architektonischer Raumgestaltung und freier, nur etwas exzentrischer Aufstellung des Klangkörpers erst in Rauminhalten über etwa 8000 m<sup>3</sup> den erwünschten Mindestwert. Während die meistens ungünstige Wirkung eines linear verzerrten Mit-

klings durch Verwendung großer Aufnahmeräume ( $> 10^4 \text{ m}^3$ ) verringert werden kann, machen sich durch eine Verringerung des Mitklings an sich wiederum andere Erscheinungen bemerkbar, die gewisse Einzelheiten des Klangeindrucks beeinträchtigen. Hierzu gehören besonders die Grundtonintensität und die Klangbindung. Vor allem ist diese von einem kräftigen Mitklingen des reflektierten Schalles abhängig, wie auch von der subjektiven Gleichmäßigkeit des Mitklings im übertragenen Frequenzbereich, wobei praktisch nur die subjektive Klangbindung im gesamten Grundtonbereich in Frage kommen kann, da eine (beispielsw.) 1 : 1- $r/d$ -Lautstärken-Bindung im Formantbereich zu einer völligen Einebnung der Feinstruktur führen müßte. Eine herabgesetzte obere Grenzfrequenz ergibt daher wegen Fehlens der akustisch zwangsläufig unbeeinflussten höheren Formanten stets eine günstigere Klangbindung. Ferner ist von Mitklingen und Bandbreite das „Geräusch/Klang-Verhältnis“ — eine ebenfalls wesentliche Klangeigenschaft — abhängig. Die Erscheinungen des Mitklings und die von ihm ausgelösten Fehler werden besonders deutlich bei geringen Abhörlautstärken.

Das „Nachklingen“ als Folge einer Nachhallzeit kann schon durch das Wort selbst als genügend gedeutet hingenommen werden. Die Erhaltung der suggestiven Ausdruckskraft einer Komposition ist an das Vorhandensein eines Nachklings von jeweils charakteristischer Dauer und Färbung gebunden. Dämpfungsabstand und Dämpfungsverlauf eines Nachklingvorganges nach Beendigung des direkten Schallvorganges können nicht schematisiert werden. Solange die Raumeigenschaften durch vordringliche Rücksichtnahme auf Erhaltung der Einschwingvorgänge festgelegt sind, ist die Nachklingwirkung zwangsläufig mitbestimmt. Erst wenn ein Raumvolumen recht große Werte von etwa  $20000 \text{ m}^3$  erreicht, könnte zu rein physiologischem Nachhallverlauf übergegangen werden. Ideale Nachklingfärbung (Hörschwellendurchgang des reflektiert-Spektrums nach einer für alle Frequenzen gleichen Zeit  $t$ ) und unverwischte Direktoren (musikalische Einschwingvorgänge) könnten dann ohne weiteres mit der gleichen akustischen Anordnung erreicht werden. Diese idealen Bedingungen sind ersatzweise auch in kleineren Räumen anzunähern, sofern das natürliche Schallspektrum ausreichend unverfälscht zur Verfügung steht (z. B.  $r/d$  [1] 1 : 1-Aufnahme in kleinerem Raum mit großem Mikrofonabstand oder mit Polymikrofonie oder in freiem Schallfeld). Die wünschenswerten Raumeigenschaften können sodann künstlich eingebracht werden, wodurch vor allem eine völlig gleichwertige akustische Einordnung sämtlicher beteiligten Schallquellen möglich wird; ein Vorteil, den keine „klassische“ Anordnung bieten kann. Dieses klanglich äußerst wirkungsvolle und zugleich wirtschaftliche Verfahren wird von führenden ausländischen Produktionen heute schon überwiegend angewendet.

Die Erscheinungen des Nachklings und auch die von ihm ausgelösten Fehler werden besonders deutlich bei größeren Abhörlautstärken.

Neben dem klangfärbenden und klangbindenden Einfluß der akustischen Umwelt ist eine weitere Wirkung des reflektierten Schalles wichtig, die zur Definition einer „Pseudo-Lokalisation“ führt. Diese typische Einkanal-Hörwertung hängt vom Grade des Mitklings ab und wird durch die Empfindung gedeutet, daß eine Einzelschallquelle oder eine Anordnung von Schallgebern sich in einer scheinbar deutlich zu bestimmenden Entfernung innerhalb der akustischen Umwelt befindet. Die Deutlichkeit und Eindeutigkeit der scheinbaren Entfernung ist stark frequenzabhängig. Das Auftreten ver-



schiedener Bewertungen für die scheinbare Entfernung innerhalb desselben Spektrums ist der charakteristische Einkanal-Klangfehler.

Dieser Fehler, der noch näher zu definieren sein wird, muß jedem normalen Klangbild anhaften, das unter zuträglichen akustischen Bedingungen hergestellt und ohne erhebliche wiedergabe-akustische Korrekturen abgespielt wurde. Auch die vorhin als besonders günstig angegebenen Daten für bestimmte Rauminhalt-Kategorien können sich nur auf eine sinnfällige Reproduktion der wichtigsten musikalischen Klangelemente beziehen, ohne daß der bezeichnete Fehler durch Einhalten dieser Daten ausgeschaltet werden könnte.

Die wichtiger zu nehmenden musikalisch-klanglichen Rücksichten (Ankling-Konturen) bedingen vom physiologisch idealen Nachhallverlauf des sehr großen Raumes aus gerechnet nach kleineren Volumina zunehmend einen Abfall der Nachhallzeit von etwa 2 kHz abwärts. Der Betrag soll bei gegebener Mikrofonentfernung ein physiologisch annähernd konstantes  $r/d$ - ( $L$ -) Verhältnis im Grundtonbereich ermöglichen.

Diese Voraussagen können durch praktische Ergebnisse als bestätigt angesehen werden, und zwar aus dem Bereich der Orchestermusik durch Aufnahmen aus der Jesus-Christus-Kirche in Berlin-Dahlem, die erst vor wenigen Jahren von Dipl.-Ing. H. Opitz auf Grund seiner eingehenden Hörbeobachtungen für Schallaufnahmезwecke als besonders geeignet bezeichnet und herangezogen wurde. Die Eignung dieses Raumes trotz seiner den herkömmlichen Ansichten entgegenstehenden Eigenschaften hat sich bisher durch eine kommerziell überaus erfolgreiche Musikproduktion erwiesen. Die Nachhallzeit dieser Kirche hat ein ausgeprägtes Maximum bei etwa 1000 Hz, also schon im höheren Grundtonbereich der bevorzugten Melodieinstrumente. Aus dem sehr umfangreichen Bereich der unterhaltenden und rhythmischen Musik sind vorzügliche Beispiele sowohl für physiologische Raumanpassung als auch für die suggestive Wirkung bewußter Nachklingeffekte aus einem Studium der amerikanischen Produktionen, besonders von Thesaurus/Orthacoustic und Capitol, zu gewinnen.

Auch ist die Feststellung interessant, daß Aufnahmen großer Orchester aus akustisch recht verschiedenen, aber großen Räumen nicht so deutliche Qualitätsunterschiede aufweisen, wie man auf Grund der akustischen Unterschiede voraussetzen möchte. Diese Erscheinung ist dadurch erklärt, daß das reflektiert/direkt Verhältnis bei Aufnahmen in großen Räumen meistens nicht größer als 1 wird, also das direkte Klangspektrum immer deutlich genug bleibt. Die größere Bedeutung liegt bei solchen Anordnungen in dem hörpsychologischen Einfluß der Nachklingfärbung und in dem günstigeren Laufzeitverhältnis (s. Kirche, Dahlem).

Von den Wirkungen der Raumfüllung wurden bisher besprochen: das Mitklingen, das Nachklingen, das Verhältnis dieser Komponenten untereinander und als deren Folgeerscheinung die Pseudo-Lokalisation. Von dieser mehr allgemeinen Darstellung ausgehend soll zwecks genauerer Erfassung weiter angenommen werden, daß diese Größen bzw. Erscheinungen die Eigenschaft von Dimensionen haben. Dann können gewissen Größenordnungen dieser Dimensionen bestimmte Klangforderungen zugeordnet werden, die sich aus der Aufgliederung natürlicher Klangeigenschaften ergeben.

Eine solche Klangforderung, die zwanglos vom natürlichen Hören herzuleiten ist, ist die „Homogenität“ eines Klangbildes in raumakustischer Beziehung. Diese Homogenität muß sich auf drei deutlich zu unterscheidende Bewertungen erstrecken.

1. Die Gleichheit der reflektiert/direkt Verhältnisse aller an einer Übertragung beteiligten Schallquellen (mittl. Intens. u. Laufzeit-Verh.).
2. Die Gleichheit der Frequenzabhängigkeit dieses Verhältnisses für alle an einer Übertragung beteiligten Schallquellen.
3. Die Frequenzunabhängigkeit der reflektiert/direkt Intensitätsverhältnisse.

Diese drei Bewertungen sollen bezeichnet werden

1. „Äußere Homogenität“
2. „Relative innere Homogenität“
3. „Absolute innere Homogenität“. (Ohne Einengung des Frequenzumfanges nicht realisierbar.)

Die „äußere Homogenität“ ergibt sich als Grundforderung für die Wiedergabe aller gebräuchlichen Klangbilder, da die natürliche Wahrnehmung nur den Eindruck geschlossener Darbietungen aus einer gewissen räumlichen Distanz kennt. Andere Wahrnehmungen würden dem natürlichen Empfinden zuwiderlaufen und außerdem das Zustandekommen geschlossener Klangbilder verhindern. Die Forderung nach „äußerer Homogenität“ kann also wie folgt markiert werden: Ein Klangeindruck ist nur dann im allgemeinen wirklichkeitsnah, d. h. glaubhaft und somit überzeugend, wenn das mittlere Verhältnis der reflektiert/direkt Intensitäten und Laufzeiten für alle an einer Übertragung beteiligten Schallquellen wenigstens annähernd gleich ist. Ausnahmen von dieser Regel sind nur für Effektaufnahmen angezeigt.

Bei der Erfassung großer Klangkörper nimmt das reflektiert/direkt Intensitätsverhältnis meistens sehr verschiedene Werte für die innen und für die außen angeordneten Instrumente an. Diese Inhomogenität ist ebenfalls ein ausgesprochener Klangfehler, der außerdem mit der Bandbreite der Wiedergabe an Deutlichkeit und Aufdringlichkeit zunimmt.

Betrachtet man die Forderung nach äußerer Homogenität auf ihre Konsequenzen für die beiden im Prinzip dargestellten Besetzungen (ausgeglichen und unausgeglichen), so ergibt sich für große Klangkörper der ausgeglichenen Art lediglich die Notwendigkeit eines großen Mikrofonabstandes; wobei an diesem weit entfernten Ort das reflektiert/direkt Intensitätsverhältnis möglichst den Wert 1 nicht weit überschreiten sollte.

Die unausgeglichene Besetzung erfordert die Anwendung mehrerer Schallempfänger zwecks Lautstärkeausgleich. Soll unter diesen Umständen noch äußere Homogenität vorhanden sein, so ergibt sich von selbst die Gruppentrennung des gesamten Klangkörpers, d. h. jede klanglich charakteristische Gruppe muß mit einem Schallempfänger versehen werden. Die Frage, ob ein Mikrofon oder mehrere (Polymikrofonie) ist also eine Alternative. Sollen bei Verwendung mehrerer Mikrofone Auslöschungen oder ähnliche Störungen vermieden werden, so darf die Lautstärke einer Klanggruppe am Mikrofon einer anderen Klanggruppe ein bestimmtes Maß nicht überschreiten. Kleine Mikrofontfernungen sind also geradezu Bedingung. Da die Lautstärken der verschiedenen Gruppen sehr verschieden sind, können in kleineren Räumen meistens keine befriedigenden Voraussetzungen für einwandfreie Polymikrofonie geschaffen werden. Abgesehen davon sind aber noch andere Überlegungen bei der Verwendung mehrerer Schallempfänger wesentlich. Diese Überlegungen betreffen das akustische und das physiologische Endergebnis einer solchen Aufnahme.



Vom akustischen Standpunkt ist zu bedenken, daß das reflektiert/direkt Verhältnis in diesem Falle viel kleiner als 1 ist, daß der Raumanteil also mit weit untergesetzter Lautstärke hörwirksam wird. Ferner fällt das reflektiert-Klangspektrum nicht nur über ein Mikrofon, sondern über mehrere ein. Räume für Polymikrofonie müßten also abgesehen von reichlichem Volumen besonders scharfe Bedingungen in bezug auf den Nachhallverlauf erfüllen, und zwar müßten sie nach hohen Frequenzen hin deutlich ansteigende Zeiten haben bei sehr geringen Mittelwerten. (Praktische Klangbeispiele ebenfalls auf Thesaurus/Orthacoustic.) Vom physiologischen Standpunkt ist zu bedenken, daß nur bei großer Mikrofonentfernung eine natürliche Lautstärkenabnahme vom Ort der Schallerzeugung bis zum Ort des Schallempfanges stattfindet, so daß die Lautstärke am Ort des Schallempfängers der am Wiedergabeort meistens schon ausreichend angepaßt ist. Das gilt besonders für Aufnahmen in sehr großen Räumen. Ganz anders liegen die Dinge jedoch, sobald mit kleinen Mikrofonabständen gearbeitet werden muß. In diesem Falle treten stärkste Lautstärkenunterschiede zwischen Mikrofonort und Wiedergabeort auf, aber auch zwischen den einzelnen Klanggruppen untereinander. Da auf dem Wege vom Schallgeber bis zur Wiedergabe ausschließlich lineare Übertragungsmittel zum Einsatz kommen, ist das wiedergegebene Klangspektrum weitgehend linear verzerrt.

Die beiden anderen Größen aus dem Wertungsbereich der Raumbfüllung, die „relative innere Homogenität“ und die „absolute innere Homogenität“, betreffen mehr die qualitativ wichtige Hörwertung einer einheitlichen Pseudo-Lokalisation. Wie die „äußere Homogenität“ von der natürlichen Wahrnehmung einer bestimmten Distanz herzuleiten ist, so ist die Forderung nach „absoluter innerer Homogenität“ lediglich eine Konsequenz aus dieser natürlichen Wahrnehmung einer geometrischen Distanz und der Frequenzabhängigkeit der Pseudo-Lokalisation. Diese Frequenzabhängigkeit hat die Empfindung zur Folge, daß der Quellort eines Schalles nicht mehr für alle Tonlagen der gleiche ist, sondern daß ein und dasselbe Klangspektrum, auch wenn es nur zu einem Instrument gehört, eine kontinuierliche Reihe scheinbarer Quellorte hat; oder, was das gleiche ist, daß der Grad des Mitklingens sich stark mit der Tonhöhe ändert. Diese Erscheinung wird in die Gruppe der „hörspsychologisch qualitativen Umwertungen“ eingruppiert.

Die relative innere Homogenität entspricht jeweils dem Grad der äußeren Homogenität. Alle vorgenannten Erscheinungen sind wesentlich abhängig von der wiedergegebenen Bandbreite und verlieren ihren, die Hörempfindung teils heftig störenden Charakter erst, wenn die Wiedergabe spätestens mit der Oktave der höchsten Grundtöne endet, d. h. bei einer oberen Grenzfrequenz von etwa 8 kHz.

Abgesehen von der physikalischen Kennzeichnung der „inneren Homogenität“ enthält ihre klangliche Deutung eine weitere Klangforderung:

### II. 33 Die Konturenschärfe

Von dieser Eigenschaft hängt es ab, ob die Notenwerte und Instrumentationsgedanken einer Komposition richtig zur Geltung kommen. Verlangt werden muß, daß neben äußerer Homogenität kein Notenwert als Einzelklang untergeht, daß Harmonien nicht ungewollt ineinanderlaufen, daß die einzelnen Klangspektren scharf gegen die akustische Umwelt abgegrenzt sind und daß diese geforderten Eigenschaften von der Tonhöhe unabhängig sein müssen. Eine Frequenzabhängigkeit dieser Eigenschaften würde

in Zusammenhang mit innerer Inhomogenität einen wechselnden Grad an Konturenschärfe innerhalb eines Einzelspektrums sowie im entsprechenden Frequenzbereich eines zusammengesetzten Spektrums bedeuten. Praktische Kennzeichen sind die nach hohen Tönen zunehmende Konturenschärfe und die gleichzeitig nach Null strebende Größe der Pseudo-Lokalisation.

Untersucht man die Konturenschärfe bei natürlichem Hören, so ist festzustellen, daß es eine Frequenzabhängigkeit dieser Bewertung dort nicht gibt und auch gar nicht geben kann, da das natürliche Lokalisationsvermögen jeden Schallvorgang eindeutig geometrisch eingrenzt und zudem noch die optische Lokalisation dafür sorgt, daß Grenzfrequenzbereiche, in denen die akustische Ortung unsicher wird, keine merklichen Hörfehler verursachen.

Von einem Bezugswert abweichende Konturenschärfe macht sich um so deutlicher bemerkbar, je größer das reflektiert/direkt Verhältnis bei der Bezugsfrequenz war. Zeichnet man den musikalischen Ein- und Ausschwingverlauf des direkten Schalles als Intensitätskurve auf und zum Vergleich den der Tonlage jeweils entsprechenden Verlauf der reflektiert-Intensität, so bekommt man einen Eindruck vom Grade des „Aufweichens“ der Grundtonkonturen und nicht zuletzt ihrer zeitlichen Verschiebung gegenüber den Obertonkonturen.

Alle vorgenannten Störungen der Hörempfindung beruhen auf der Frequenzabhängigkeit der Raumfüllung und werden ausgelöst durch Verlagerung geometrisch-akustischer Beziehungen bei natürlichem Hören auf intensitäts-akustische Beziehungen beim Einkanalhören. Der ursprünglich reellen geometrischen Lokalisation entspricht eine intensitätsbedingte Pseudo-Lokalisation. Diese Wandlung tritt ein bei Fortfall der stereofonischen Komponente, also bei Einkanalübertragung. Die natürliche Lokalisation wird „umgewertet“ in eine Bewertung, die keine Parallele zum natürlichen Hören hat. Solche Umwertungen werden weiterhin als „qualitativ“ bezeichnet und die von ihnen verursachten Hörfehler als „qualitative“ (nicht-lineare) hörpsychologische Verzerrungen. Dieser Definition entsprechend müssen solche Umwertungen, die keine der Erscheinung nach neue Wertung schaffen, sondern die lediglich eine quantitative Wahrnehmung, z. B. die Lautstärke, durch technische Einflüsse dem Grade nach in andere Beziehung zu einer konstanten Größe, z. B. der Tonhöhe setzen, als „quantitative“ Umwertungen bezeichnet werden und die von ihnen verursachten Hörfehler als

„quantitative (lineare) hörpsychologische Verzerrungen“.

Diese quantitativen Umwertungen behandelt der folgende Abschnitt.

## II. 34 *Physiologische Anpassung*

Zur einwandfreien Übertragung von Klangbildern gehört die Erhaltung des subjektiven Eindrucks vom Intensitätsverhältnis der direkten Schallanteile untereinander. Auch bei verminderter oder erhöhter Abhörlautstärke darf sich das subjektive Lautstärkenverhältnis der Klangspektrumanteile untereinander nicht ändern. Hierbei ist es grundsätzlich gleichgültig, ob die Lautstärkenänderung wiedergabeseitig oder aufnahmeseitig eintritt. Normalerweise muß man mit einer annähernd gleichbleibenden Wiedergabelautstärke (Mittelwert) rechnen, der bei den heutigen Hörgewohnheiten etwas höher zu liegen scheint, als frühere Ermittlungen ergaben, und zwar zwischen etwa



65 und 70 phon. Auf diesen Wert bezogen müßten alle Übertragungen einen richtigen Eindruck von der inneren Intensitätsverteilung der erzeugten Klangspektren geben. Soweit die grundsätzliche Forderung.

Könnte man voraussetzen, daß diese physiologische Anpassung zwischen Aufnahme und Wiedergabe nur innerhalb eines eng begrenzten Dynamikbereiches erforderlich wird, so käme man mit einer einmaligen Anpassungseinstellung aus.

In Wirklichkeit ist der aufnahmeseitig zu erfassende Dynamikbereich aber so sehr groß, daß eine einmalige Anpassung nur für einen wirklich kleinen Teil aller übertragenen Schallvorgänge stimmt. Von dieser Tatsache befreit auch nicht der Umstand, daß eine kleine Zahl speziell interessierter Hörer die Abhörlautstärke der jeweiligen Darbietung anpassen möge. Praktisch besteht also die Forderung, von Fall zu Fall sehr verschiedene Grenzlautstärken und Grundlautstärken vom Mikrofonort an einen Wiedergabeort zu übertragen, ohne daß die aufnahmeseitigen Lautstärkeunterschiede zu einer Verzeichnung, d. h. subjektiven, linearen Verzerrung des Klangeindrucks führen dürfen. Die Grenz- und Grundlautstärken am Mikrofonort hängen von der jeweiligen Darbietungsart ab, von der wiederum die Saaleigenschaften und die Mikrofonentfernung bestimmt werden.

Die größten Unterschiede ergeben sich zwischen lautschwachen Klangkörpern, die aus klangästhetischen Gründen eine größere Mikrofonentfernung angezeigt sein lassen, und lautstarken Klangkörpern, die aus Gründen exakter Konturenzeichnung kleine Abstände erfordern. Die Lautstärkenmittelwerte am Mikrofon können hierbei ohne weiteres bis zu 50 phon auseinanderliegen, ganz abgesehen von noch weit größeren Unterschieden der Grenzwerte. Darzustellen, daß diese Schwierigkeiten nicht durch Schematisierung der Mikrofonanordnung beseitigt werden können, sollte u. a. Sinn und Zweck der verhältnismäßig breiten Ausführungen über aufnahmetechnische Fragen sein.

Neben der Aufgabe, aufnahmeseitig unterschiedliche Mittelwerte auf einen wiedergabeseitigen Mittelwert zu beziehen — die im übrigen mit einer jeweils angepaßten konstanten Entzerrung leicht zu lösen wäre —, besteht die Notwendigkeit, übermäßige Dynamikwerte der Darbietung einzuengen. Die Gründe hierfür brauchen nicht näher erörtert zu werden. Diese Dynamikregelung, weiterhin „Betriebsregelung“ genannt, ist ebenfalls ein Eingriff in die aufnahmeseitigen Lautstärkenverhältnisse, und zwar ein willkürlicher. Der Umfang dieses Eingriffes wird deutlich, wenn man sich die Verhältnisse bei der Übertragung großer Orchesterwerke vor Augen hält. Die ursprüngliche Dynamik möge dabei Lautstärken zwischen 10 und 100 phon, also 90 phon am Mikrofonort betragen haben. Der Mittelwert soll mit 50 phon angenommen werden. Diese Dynamik von 90 phon muß nach der Übertragung etwa auf 50 phon zusammengeschumpft sein (höhere Werte, die zwar technisch möglich, jedoch betriebsmäßig wenig realistisch wären, sollen hier nicht angenommen werden).

Der Mittelwert beim Abhören sei hier einmal mit 60 phon angenommen. Dann umfaßt die wiedergabeseitig resultierende Dynamik Lautstärkenwerte etwa zwischen 37,8 bis 60...87,8 phon. Das ursprüngliche Minimum von 10 phon müßte also um 27,8 phon erhöht und das ursprüngliche Maximum von 100 phon um 22,2 phon vermindert sein (die Wertung der „Lautheit“ in Abhängigkeit von der Lautstärke ist hier vernachlässigt). In diesem Falle würde der ursprüngliche Dynamikumfang ausreichend hörfehlerfrei angedeutet werden können.

Diese hörkurvenrichtige „Anpassung“ ist praktisch jedoch nicht möglich, weder die stufenweise Anpassung verschiedener Grundlautstärken noch die kontinuierliche Anpassung während eines Betriebsregelvorganges.

Es sind bisher im kommerziellen Betrieb (mit Ausnahme des Tonfilmes) keine Einrichtungen eingeführt, die eine Lösung dieser grundsätzlichen Aufgabe gestatten. Alle Übertragungsvorgänge und alle Regelvorgänge erfolgen ausschließlich frequenzunabhängig. Die Klangfehler, die dabei entstehen, zeigen etwa folgende Größenordnungen (nach den Kurven gleicher Lautstärke):

Im erstgenannten Fall der betriebsgeregelten Dynamikeinengung ist das wiedergegebene Klangbild gegenüber dem Original linear verzerrt um

$$\begin{aligned} &+ 5,8 \text{ db} \sim + 6 \text{ ph bei } 300 \text{ Hz} \\ &+ 10,8 \text{ db} \sim + 20 \text{ ph bei } 100 \text{ Hz} \\ &+ 13 \text{ db} \sim + 37 \text{ ph bei } 40 \text{ Hz} \end{aligned}$$

und an der oberen Dynamikbegrenzung um einen Betrag von etwa

$$\begin{aligned} &0 \text{ db} \quad \quad 0 \text{ ph bei } 300 \text{ Hz} \\ &0 \text{ db} \quad \quad 0 \text{ ph bei } 100 \text{ Hz} \\ &- 2 \text{ db} \sim - 4 \text{ ph bei } 40 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Die ursprünglich von der Frequenz unabhängige Dynamik des Orchesters ist also nach der Übertragung stark frequenzabhängig geworden, und zwar statt konstant 50 phon — wie vorausgesetzt — nunmehr

$$\begin{aligned} &44 \text{ ph bei } 300 \text{ Hz} \\ &30 \text{ ph bei } 100 \text{ Hz} \\ &19 \text{ ph bei } 40 \text{ Hz} \\ &(\text{alle Werte angenähert}) \end{aligned}$$

Das bedeutet bei etwas anspruchsvolleren Abhöranlagen (tiefe Grenzfrequenz 40 Hz) bereits einen Dynamikfehler von 31 phon bei 40 Hz, d. h. eine Ohrkurvenverzerrung (quantitative hörpsychologische Verzerrung) von etwa 60%. Es kann behauptet werden, daß dieser Grad eines technisch herbeigeführten Klangfehlers die künstlerische Absicht einer musikalischen Übertragung durchaus zu beeinflussen vermag.

Diese Überlegungen zu physiologischer Anpassung galten vornehmlich den Schallquellen, die mit einem Mikrofon erfaßt werden können.

Ähnliche, wenn nicht in der Auswirkung noch heftigere Fehler ergeben sich bei der linearen Übertragung unausgeglichener Besetzungen. Abgesehen von der größeren Untersetzung der aufnahmeseitigen Grundlautstärke (kleine Mikrofonabstände) gegenüber dem wiedergabeseitigen Mittelwert muß innerhalb des Klangkörpers selbst mit linearen Mitteln ein Ausgleich zwischen sehr verschieden lautstarken Instrumentengruppen vorgenommen werden. Diese physiologische Fehlanpassung innerhalb des Klangbildes ist auf der Wiedergabeseite mit keinem Mittel mehr reparabel. Die relativen Klangfehler zwischen einzelnen Klanggruppen können dabei bis zu 40 phon sein, und das bereits noch im Grundtonbereich einiger Melodieinstrumente. Zu den vorgenannten Fehlern treten die bereits erörterten akustischen Fehler, so daß besonders im Falle der unausgegliehenen Besetzungen unzulängliche Ergebnisse beobachtet werden müssen.



Bei allen besprochenen Erscheinungen spielt die Bandbreite eine entscheidende Rolle; da störende Empfindungen nicht offensichtlich auf konstanten Absolutwerten beruhen, sondern durch das gleichzeitige oder zeitlich aufeinander folgende Auftreten von unterschiedlichen Wertungen ausgelöst werden. Diese Wertungen werden mit steigender oberer Grenzfrequenz immer ausgeprägter. Die physiologische Wertung wird außerdem mit abnehmender tiefer Grenzfrequenz deutlich. Damit ist auch die anfängliche Feststellung untermauert, daß die Breitbandwiedergabe manche Schwierigkeiten klanglicher Art deutlicher werden läßt, und daß außerdem neue Erscheinungen auftreten, die bisher nicht als ausgesprochene Störungen beobachtet wurden.

Daher kann nach der erfolgten Klärung aufnahmetechnischer Begriffe und der Definition der verschiedenen Klangmerkmale, Klangforderungen und Klangfehler mit einer kurzen Betrachtung zu Breitbandfragen, soweit sie sich nicht schon von selbst beantwortet haben, abgeschlossen werden.

## II. 35 *Betrachtungen zur Breitbandübertragung*

Die bisher übliche Spaltung des Übertragungsvorganges durch zweierlei Betrachtungsweise führt im niederfrequenztechnischen Bereich zwangsläufig zur Breitbandentwicklung, d. h. zu der Bestrebung, alle hörbaren Töne zu übertragen. Nach den Ausführungen der vorangehenden Abschnitte sind die wesentlichen klanglichen Folgeerscheinungen dieser technischen Bestrebung ohne weiteres zu übersehen.

An der oberen Bandbegrenzung kommt ein Tonbereich hinzu, der in jedem Falle nur noch aus direktem Schall besteht und folglich kein Mitklingen oder eine definierbare Pseudo-Lokalisation erzeugt. Liegt das reflektiert/direkt Intensitätsverhältnis im Bereich des Grundtonspektrums bei 1 oder darüber, so hebt sich das Formantspektrum akustisch zunehmend deutlich vom eigentlichen Klangkern (Grundtonbereich) ab. Das Formantspektrum unterstützt dann nicht mehr die Typisierung der Schallquellen und trägt auch nicht mehr zur Durchsichtigkeit des Gesamtklanges bei, sondern wirkt vereinheitlichend und verdeckend. Das akustisch abgesonderte Formantspektrum erzeugt auch für sich allein keine Tonhöhenempfindung oder überhaupt eine merkliche Tonempfindung. Es hat vielmehr einen mehr oder weniger ausgeprägten Geräuschcharakter. Mit dieser Eigenschaft kann es unter geeigneten Umständen den musikalischen Charakter einer Wiedergabe auslöschen.

Dies ist die hörpsychologische Erklärung für die störende Empfindung, als ob dem Klang eine metallische Härte aufgesetzt sei und zwischen Klangerzeugung und Wahrnehmung ein Geräuschschleier liege. Es kann mit den vorliegenden Feststellungen als geklärt angesehen werden, daß diese Erscheinungen der Breitbandwiedergabe keine technischen Fehler sind, sondern daß die Auswirkungen der Hörumwertungen dabei eine größere Rolle spielen.

In Zusammenhang mit Störungen der Hörempfindung könnte die Frage einer Gewöhnung aufgeworfen werden. Eine Gewöhnung an umgewertete Klangeindrücke würde aber wohl voraussetzen, daß die natürliche stereofone Wahrnehmung für eine gewisse Zeit ganz ausgeschaltet werden müßte.

Im Tieftonbereich ist der äußerst schwierig zu beherrschende Infrabereich anzugliedern. Wie schon in dem Abschnitt über physiologische Anpassung ausgeführt wurde, können die physiologischen Verzerrungen schon oberhalb des Infrabereiches ( $> 40$  Hz) un-

zulässige klangliche Verzeichnungen bewirken. Durch Ausweitung um eine Oktave wachsen die physiologischen Fehler stärker an als der klangliche Gewinn, es sei denn, man geht zu gehörrichtiger Betriebsregelung und normierter Abhörlautstärke über.

Zur Breitbandfrage allgemein interessant sind die Versuche mit Kugelstrahlern auf der Wiedergabeseite. Nach den hier erörterten Zusammenhängen muß angenommen werden, daß eine Verbesserung des Klangeindrucks durch Anreicherung des wiedergegebenen Schallfeldes mit höheren Frequenzen bewirkt werden kann. Allerdings trifft diese Maßnahme nicht den Kern der Erscheinung, da der Monokanal weiterhin zweiohrig abgehört wird und so die Umwertung zur Pseudo-Lokalisation wirksam bleibt.

### **Schlußbemerkungen**

Die hörpsychologische Betrachtungsweise des Einkanalproblems kann die fernmelde-technische Betrachtungsweise ergänzen oder berichtigen und zwanglose Erklärungen für fragliche Ergebnisse liefern, deren Ursachen bisher auf technischem Gebiet gesucht werden. Die weitere Bedeutung liegt in der Schaffung genauer Maßstäbe für Kompromißlösungen sowie in der Festlegung und Definition von Grenzbedingungen.

### **Zusammenfassung**

Die Verfahrensgrundlage, die jetzige Situation und die Praktiken der Einkanalübertragung und Aufnahme von Schall werden einer kritischen Betrachtung unterzogen. Die Bereiche der tatsächlichen und der geforderten Wirksamkeit werden verglichen. Hierbei werden als neue Begriffe die „Hörwertungen“ und die „Klangforderungen“ sowie der „physikalische Komplex“ und der „individuelle Komplex“ formuliert und ihre Verkettung untersucht. Es wird festgestellt, daß bestimmte Einflüsse gegen den einen Komplex definierbare Folgeerscheinungen im anderen Komplex hervorrufen. Unter diesen werden die „qualitativen und quantitativen Umwertungen“, die „relative innere Homogenität“, die „absolute innere Homogenität“ und die „äußere Homogenität“ sowie die „physiologische Anpassung“ und die „linearen und nicht-linearen hörpsychologischen Verzerrungen“ entwickelt. Als charakteristische Erscheinung der Umwertungen wird die „Pseudo-Lokalisation“ eingeführt und zu ihrer näheren Kennzeichnung der Begriff „Frequenzortverzerrung“ gewählt. Die Konsequenzen der Breitbandentwicklung werden umrissen.

\*

\*

\*



# Tragbare elektroakustische Sprach- und Hörverstärker

(Mitteilung aus dem elektroakustischen Laboratorium der Firma Blaupunkt-Elektronik)

Das elektrische Megaphon, die Hörhilfe und das elektrische Stethoskop, die im folgenden beschrieben werden sollen, haben in der Form des schallbündelnden Hornes einerseits und des Hörrohres andererseits einen im Prinzip gemeinsamen Vorläufer, dessen Ausführung und Handhabung in beiden Fällen unübertrefflich einfach sind. Infolge des geringen Verstärkungsgewinnes eines einfachen trichterförmigen Hornes ist jedoch seine Anwendungsmöglichkeit begrenzt, so daß es sich als notwendig erwies, Röhrenverstärker zu verwenden. Entsprechend den Vorläufern müssen auch die Verstärkergeräte leicht tragbar und handlich sein, wodurch der zulässige Aufwand an Größe, Gewicht und Batterien stark begrenzt wird. Diese Einschränkungen setzen eine sorgfältige Dimensionierung der Geräte auf Grund genauer Kenntnis der akustischen Anforderungen voraus. Da alle Möglichkeiten ausgeschöpft sind und auf Reserven verzichtet werden muß, müssen vor allem die Pegelverhältnisse, auf Grund deren alle übrigen Dimensionierungen erfolgen, bekannt sein.

## I. Grundelemente des Pegeldiagrammes der elektroakustischen Übertragung

Zur Darstellung der Pegelverhältnisse ist es zweckmäßig, in Anlehnung an die Fernsprechtechnik ein Diagramm zu verwenden, das die Intensität der Tonquelle, die Empfindlichkeit des Empfängers, die Ausbreitungsverluste und die Störamplitude enthält.

### a) Empfindlichkeit des Empfängers

Der Empfänger wird letztlich immer durch das Gehör dargestellt. Die Empfindlichkeit des normalhörenden menschlichen Ohres ist so groß, daß bei einer weiteren Steigerung bereits die unregelmäßigen Wärmebewegungen der Luft hörbar würden. Auf Grund audimetrischer Messungen an zahlreichen Menschen wurde als Grenzwert der Empfindlichkeit für einen gerade wahrnehmbaren Ton der Frequenz  $f = 1000$  Hz ein Schalldruck  $p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$   $\mu$ bar ermittelt. Es ist üblich geworden, alle Schalldruckwerte unabhängig von der Frequenz (im Gegensatz zur Phonskala) logarithmisch entsprechend einer Dezibelskala auf diesen Schalldruck zu beziehen. Die Lautstärke  $L$  in Dezibel (db) eines Schallereignisses, bei dem mit einem Meßmikrofon  $p_1$   $\mu$ bar gemessen wurden, ergibt sich also zu

$$L[\text{db}] = 20 \log \frac{p_1}{p_0}$$

Bei einer Lautstärke von 15...20 db über Hörschwelle wird eine Silbenverständlichkeit von etwa 40% und damit eine ausreichende Satzverständlichkeit erreicht. Der angenehme Hörbereich, bei dem mühelos alles verstanden wird, liegt bei 50...60 db; von

100 db an beginnen Sprache und Töne unangenehm zu werden, bei 130 db geht die Schallempfindung in ein Prickeln und schließlich in Schmerz über.

### *b) Sendepiegel (Sprachorgan)*

Bei einer normal geführten Unterhaltung erzeugt der Sprecher in einer Entfernung von einem Meter einen mittleren Schalldruck von 55...60 db. Eine Steigerung der Sprachlautstärke bis zu etwa 85 db (gemessen im Abstand 1 m) ist möglich, jedoch anstrengend. Mit einem sehr lauten Radioapparat erreicht man etwa 80 db.

### *c) Akustische Verstärkung*

Die akustische Verstärkung wird durch das in Dezibel ausgedrückte, logarithmische Verhältnis der Schalldruckwerte am Eingang und Ausgang der elektroakustischen Anlage dargestellt. Zur Messung wird das Mikrofon in einem schalltoten Raum oder mit Hilfe einer Druckkammer beschallt, wobei der Schalldruck am Ort des Mikrofones bekannt sein muß. Ausgangsseitig ist zwischen einer Lautsprecher- und einer Hörerwiedergabe zu unterscheiden. Im ersten Fall wird der Schalldruck mit Hilfe eines Meßmikrofones, das in einem definierten Abstand aufgestellt wird, im freien Schallfeld gemessen; im zweiten Fall wird ein künstliches Ohr verwendet. Bei dem künstlichen Ohr wird das Meßmikrofon über ein den natürlichen Verhältnissen entsprechendes Luftvolumen angekoppelt, dessen Größe bei einem auf der Ohrmuschel aufsitzenden Hörer 6 cm<sup>3</sup> beträgt. Für eine Sprachübertragung guter Qualität muß die Wiedergabekurve zwischen 300 und 4000 Hz einen geradlinig verlaufenden oder ansteigenden Charakter haben, unterhalb 300 Hz, bzw. über 4000 Hz kann die Kurve stärker abfallen.

### *d) Ausbreitungsverlust*

Bei der Ausbreitung nimmt die Schallintensität  $I$  [W/cm<sup>2</sup>] aus zwei Ursachen ab:

1. verteilt sich die Schalleistung auf immer größer werdende Flächen und nimmt bei einer kugelförmigen Ausbreitung mit wachsendem Radius quadratisch ab,
2. wird bei den Verdichtungen und Verdünnungen der Luft ein geringer Teil in Wärme umgesetzt. Berücksichtigt man, daß der Schalldruck der fortschreitenden Welle der Wurzel aus der Schallintensität proportional ist, und daß nach Messungen von A. W. Duff [1] der Schallschwächungskoeffizient einen Wert von  $b = 3,3 \cdot 10^{-3}/\text{m}$  hat, so ergibt sich die Ausbreitungsdämpfung in Abhängigkeit von der Entfernung  $r$  [m] zu

$$\beta \text{ [db]} = -20 (\log r + b r \cdot \log e)$$

### *e) Störpegel und Dynamik*

Infolge des im Gehörorgan auftretenden Verdeckungseffektes sind leisere Töne neben lautstärkeren Tönen oder Geräuschen nicht wahrnehmbar. Der Grad der Verdeckung hängt im wesentlichen von der Frequenz und von der Stärke der beteiligten Töne ab. Bei der gleichzeitigen Anwesenheit eines der Sprache gleichstarken Geräusches sinkt die Silbenverständlichkeit auf 40% [2]. Für eine Sprachübertragung ausreichender Qualität muß entsprechend der natürlichen Dynamik der Sprache zwischen Störpegel und Übersteuerungsgrenze ein linearer Aussteuerungsbereich von mindestens 25 db vorhanden sein. Das innere Störgeräusch der elektroakustischen Verstärker, hervorgerufen durch das thermische Rauschen der Röhren und Widerstände, ist in den meisten



Fällen zu vernachlässigen; dagegen spielt das äußere Störgeräusch eine wichtige Rolle, da selbst in einer ruhigen ländlichen Gegend mit einem Störpegel von 10...20 db gerechnet werden muß.

## II. Das elektrische Megaphon

### a) Technische Ausführung

Das elektrische Megaphon der Firma Blaupunkt-Elektronik (Abb. 1) besteht aus zwei Teilen, einem Tragkasten, der den Verstärker mit Stromversorgungsteil und Batterien enthält, und einem Lautsprecher, der zusammen mit einem Mikrofon, einem Lautstärkereger und einem Sprechschalter eine handliche Einheit bildet. Der Verstärker, der zwei Vorstufen, eine Phasenumkehrstufe und eine stromsparende Gegentaktstufe enthält, liefert eine elektrische Sprechleistung von 4 Watt. Bei diesen durch den Batterieaufwand gegebenen Leistungsverhältnissen ist die Reichweite der Anlage im wesentlichen vom Wirkungsgrad des Lautsprechers abhängig. Es wird daher ein Druckkammersystem mit möglichst großer Luftspaltinduktion verwendet. Für das zur Drucktransformation notwendige Exponentialhorn, das aus räumlichen Gründen doppelt gefaltet ist, wurde ein Öffnungsdurchmesser von 25 cm und eine rechnerische Grenzfrequenz von 400 Hz gewählt. Nachdem praktische Versuche ergeben hatten, daß die Kohlemikrofone den qualitativen Ansprüchen nicht genügten, die handelsüblichen kompensierten Mikrofone keine im Verhältnis zum Aufwand nennenswert größere akustische Verstärkung erlaubten, wurde eine einfache Kristallmikrofonkapsel mit einer trichterförmigen Einsprache verwendet. Die Einsprache, die aus hygienischen Gründen auswechselbar ist, liegt beim Sprechen an der Oberlippe und gewährleistet damit auch während des Laufens einen gleichmäßigen Abstand des Mikrofones vom Mund. Die Stromversorgung des Verstärkers kann wahlweise aus dem im Tragkasten untergebrachten Akkumulator oder aus dem Netz erfolgen.

### b) Akustische Eigenschaften

Die akustische Verstärkung des elektrischen Megaphones wird durch das Einsetzen der akustischen Rückkopplung, deren Beherrschung durch die eng benach-

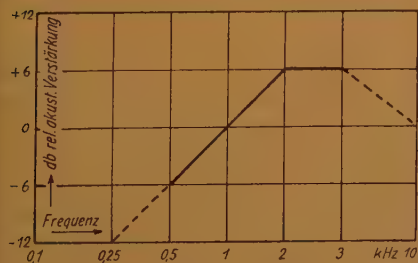


Abb. 2. Frequenzkurve der akustischen Verstärkung eines elektrischen Megaphones

Rechts: Abb. 1. Elektrisches Megaphon der Firma Blaupunkt-Elektronik



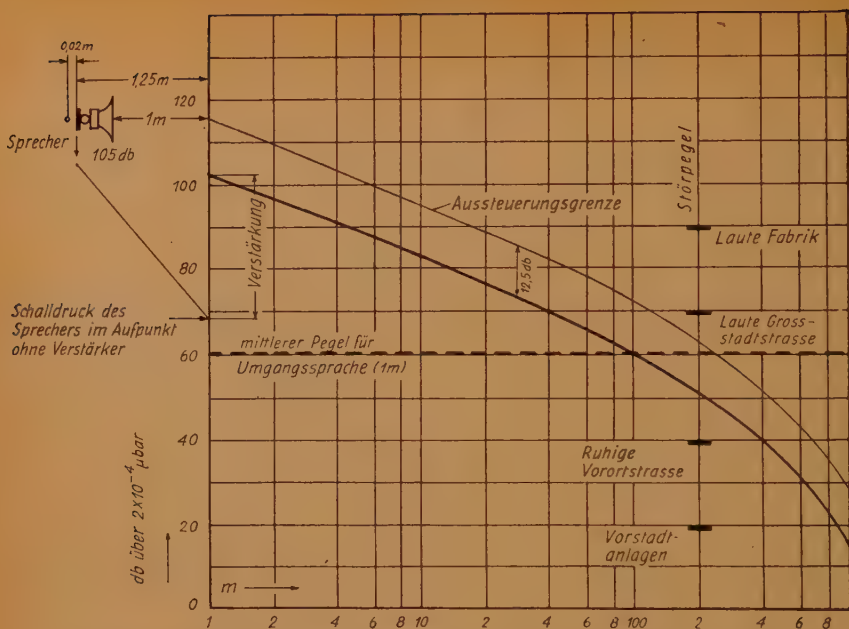


Abb. 3. Akustisches Pegeldiagramm des elektrischen Megaphones der Firma Blaupunkt-Elektronik

barte Lage von Lautsprecher und Mikrofon besonders schwierig ist, begrenzt. Da sich die Übertragung über den Lautsprecherkörper durch eine elastische Aufhängung des Mikrofones leicht vermeiden läßt, erfolgt der Schallrückfluß ausschließlich über den Luftweg. Diese Rückflußdämpfung ist von den Bündelungseigenschaften des Lautsprechers und Mikrofones und von der Weglänge zwischen beiden abhängig. Die Bündelung des Lautsprechers wird angenähert durch die Beziehung  $\sin \alpha = 0,6 \lambda / R$  charakterisiert, wobei  $\alpha$  der halbe Öffnungswinkel des Strahlungskegels,  $\lambda$  die Wellenlänge und  $R$  den Radius der strahlenden Fläche darstellt. Je stärker die Bündelung ist, um so geringer ist der rückwärtige Strahlungsanteil. Die Rückflußdämpfung, die absolut genommen immer größer als die Verstärkung sein muß, wird also näherungsweise proportional der Frequenz zunehmen. Da die Dimensionen des Lautsprechers und damit seine Bündelungseigenschaften durch den Verwendungszweck im wesentlichen gegeben sind, muß man sich mit dem Frequenzgang der Verstärkung den oben geschilderten Verhältnissen anpassen und für die Übertragungskurve einen relativen Frequenzgang, wie in der Abb. 2 dargestellt, wählen [3]. Infolge der Fähigkeit des menschlichen Gehöres, fehlende Grundtöne als Differenztöne der höheren Harmonischen subjektiv zu ergänzen, hat der Verstärkungsabfall bei tiefen Frequenzen keinen Einfluß auf die Verständlichkeit der Sprache, deren Charakter lediglich schärfer wird und in geringem Umfang an Wohlklang verliert.

### c) Reichweite

Für die praktische Verwendung ist die Reichweite des elektrischen Megaphones von entscheidender Bedeutung. Naturgemäß ist die Reichweite im starken Maß von den



jeweiligen örtlichen Verhältnissen (freies Gelände, Wald, Häuser usw.), vom Wind und vom Störpegel am Empfangsort abhängig. Zur übersichtlichen Darstellung der Reichweitenverhältnisse ist es zweckmäßig, das in Abb. 3 dargestellte Pegeldiagramm, für dessen Aufstellung die Werte des oben beschriebenen Megaphones zugrunde gelegt wurden, zu verwenden. Bei voller Aussteuerung liefert das genannte Gerät im wichtigen Sprachfrequenzbereich von 1000...3000 Hz in einem  $r = 1$  m von der Hornöffnung entfernten Aufpunkt im Mittel einen Schalldruck von 116 db über Hörschwelle. Berücksichtigt man eine Sprachdynamik von 25 db, so ergibt sich als mittlerer Sprachpegel ein um 12,5 db kleinerer Wert. Ein Sprecher erzeugt mit erhobener Stimme in der etwa 2 cm vom Mund befindlichen Mikrofonebene einen Schalldruck von etwa 105 db, was umgerechnet auf den oben genannten Aufpunkt einem Schalldruck von 70 db entspricht. Die akustische Verstärkung beträgt somit etwa 35 db. Demgegenüber liefert das bekannte Sprachrohr eine Verstärkung von nur etwa 10 db, die jedoch nur in den Spitzen der Trichterresonanzen erreicht wird [4].

Wie aus dem Pegeldiagramm hervorgeht, erhält man mit dem in Abb. 1 dargestellten Megaphon in einer Entfernung von etwa 100 m eine Lautstärke, die einer normal geführten Unterhaltung entspricht. Berücksichtigt man, daß eine Lautstärke von 20 db eine gerade noch ausreichende Satzverständlichkeit ergibt, so erhält man eine Reichweite von etwa 800 m. In einer sehr lauten verkehrsreichen Großstadtstraße sinkt die Reichweite infolge des Störpegels von etwa 70 db auf etwa 50 m ab. Praktische Versuche, die unter den verschiedenen Bedingungen durchgeführt wurden, bestätigen im Rahmen der dabei erzielbaren Genauigkeit die obigen Ergebnisse. Unter dem Einfluß des Windes wird der Schallstrahl erheblich versetzt. Die Reichweiten mit dem Wind und gegen den Wind können sich maximal bis etwa 1:4 unterscheiden.

### III. Die Hörhilfe

Der krankhafte Hörverlust des menschlichen Gehöres und dessen Ausgleich durch eine Hörhilfe ist in seiner praktischen Auswirkung ebenfalls ein Reichweitenproblem. Ein Hörverlust von z. B. 70 db vermindert die Reichweite für Umgangssprache auf etwa 30 cm, die durch die Anwendung eines Schwerhörigengerätes auf einige Meter vergrößert werden kann. Infolge der unvermeidlichen technischen Unvollkommenheit und der meist zusätzlichen krankhaften Veränderungen des Gehörorgans wird die Reichweite eines Normalhörenden in den meisten Fällen nicht erreicht. Außer dem Hörverlust, der bei der verschiedenen Erscheinungsformen der Schwerhörigkeit in seiner Abhängigkeit von der Frequenz sehr unterschiedlich sein kann, können Veränderungen der Lautstärke-Empfindungscharakteristik (Lautstärkeausgleich, Recruitment) des Frequenzunterscheidungsvermögens und Funktionsstörungen im Hörzentrum des Großhirns auftreten. Die Messung des Hörverlustes erfolgt mit einem Audiometer, bei dem mit Hilfe reiner Töne die Hörschwelle des erkrankten Ohres gemessen und in db über der normalen Hörschwelle angegeben wird. Der mittlere Verlust wird aus den Hörverlustanteilen des wichtigen Sprachfrequenzbereiches von 1000 bis 3000 Hz gebildet.

#### a) Technische Ausführung

Ein entscheidender Fortschritt wurde in der technischen Ausführung der Schwerhörigengeräte durch den Einsatz der Subminiaturröhren, verzerrungsfreier Kristallmikrofone, leistungsfähiger Einsteckhörer sowie anderer kleinster Bauelemente er-



Abb. 4. Hörhilfe „Omniton 100“ der Firma Blaupunkt-Elektronik



Abb. 5. Innenaufbau der Hörhilfe „Omniton 100“

zielt. Abb. 4 zeigt ein modernes Hörgerät der Firma Blaupunkt-Elektronik, Modell „Omniton 100“; in Abb. 5 ist das Verstärkerchassis mit Batterien und Mikrofon dargestellt. Um die Geräusche herabzusetzen, die beim Tragen durch Reibung des Gehäuses an der Kleidung entstehen, befindet sich das Mikrofon auf der Stirnseite des Gerätes, so daß die besonders empfindliche Mikrofonöffnung in der Tasche frei liegt und mit dem umgebenden Stoff nicht in Berührung kommen kann. Bei normaler Besprechung liefert das Mikrofon eine Spannung von etwa 0,5 mV, die einem dreistufigen Verstärker zugeführt wird, der bei voller Aussteuerung eine elektrische Sprechleistung von etwa 1,5 mW an den Hörer abgibt. Da die Membran des Hörers nur das abgeschlossene Ohrvolumen etwa 2 cm<sup>3</sup> zu erregen braucht, können mit dieser geringen Leistung Lautstärken in der Nähe der Schmerzgrenze (120...130 db) erzielt werden.

#### *b) Das Pegeldiagramm*

Die bei den verschiedenen Erscheinungsformen der Schwerhörigkeit in der Praxis auftretenden Pegelwerte sind in dem Diagramm der Abb. 6 zusammengestellt. Entsprechend den Schalldruckwerten, wie sie bei der normalen Umgangssprache vorliegen, ist auf der linken Seite des Diagrammes die Abnahme des Eingangspegels mit der Entfernung dargestellt. Der mittlere Wert von 60 db in 1 m Entfernung wird für alle Messungen an einer Hörhilfe als normaler Eingangspegel verwendet. Im Hinblick auf den Hörverlust erstreckt sich der Verwendungsbereich einer Hörhilfe von etwa 30 bis 90 db, wobei die Grenzen naturgemäß nicht streng gezogen werden können, weil die Intelligenz des Trägers einen großen Einfluß auf die Sprachverständigung hat. Bei geringeren Hörverlusten als 30 db ist eine Hörhilfe nicht notwendig, größere Verluste als 90 db können nur in günstigen Fällen überbrückt werden; über 100 db liegt praktisch Taubheit vor.

Außer der Verschiebung der unteren Grenze des Hörbereiches, der Hörschwelle, kann auch eine Veränderung der Grenze für die unangenehme Lautstärkeempfindung ein-



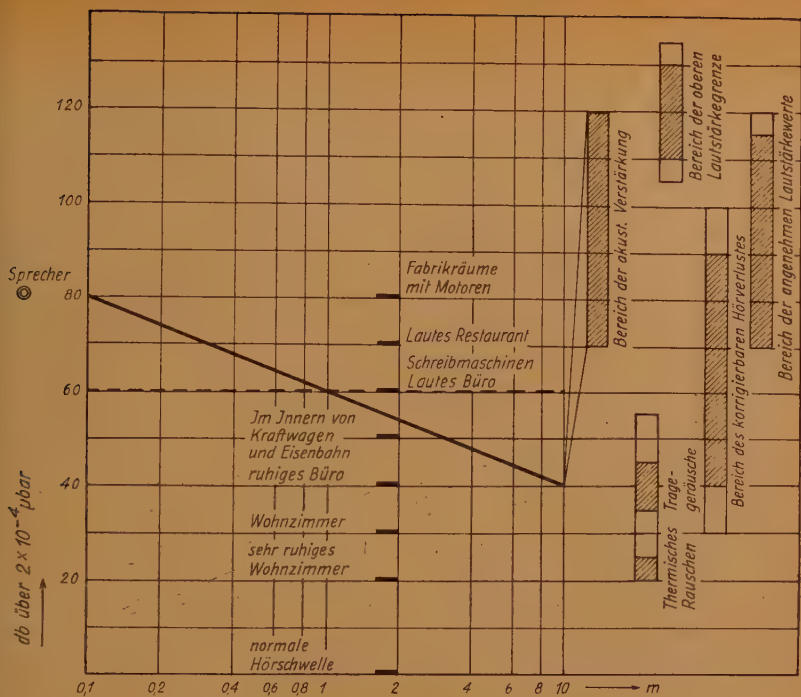


Abb. 6. Allgemeines akustisches Pegeldiagramm einer Hörhilfe

treten. Während bei Mittelohrschwerhörigen das Gerät in vielen Fällen nicht lautstark genug sein kann, empfindet der vorwiegend Nervenschwerhörige zu große Lautstärken lästig und auf die Dauer unerträglich. Im ersteren Fall müssen bezüglich der Aussteuerungsgrenze möglichst Werte von 130 db und mehr erreicht werden, im anderen muß die Lautstärke auf geeignete der jeweiligen Gehörstörung angepaßte Werte begrenzt werden können. In dem genannten Gerät „Omniton 100“ ist eine vom Ausgang auf das Gitter der ersten Röhre rückwirkende automatische Verstärkungsregelung eingebaut, mit deren Hilfe die Dynamik eingeengt werden kann.

Aus den Werten des in Frage kommenden Eingangsschalldruckes einerseits und der Aussteuerungsgrenze andererseits ergibt sich, daß Verstärkungen bis zu 80 db gebraucht werden. Der Wert von 30 db stellt einen Mindestwert dar, der nicht unterschritten werden soll. Der Frequenzbereich der Verstärkung soll hierbei ein Band von 300...4000 Hz umfassen. Amerikanische [2, 5] und englische [6] Forschungsarbeiten empfehlen zur Anpassung an die verschiedenen Arten der Schwerhörigkeit eine Änderungsmöglichkeit des Frequenzganges der Wiedergabe zwischen einer flachen Übertragungskurve und einer solchen, die nach höheren Frequenzen zu mit 6 db je Oktave ansteigt. Um Raumgeräusche und Nachhall zu unterdrücken, ist es zweckmäßig, die Verstärkung unterhalb 800...1000 Hz stärker mit etwa 12 db/Oktave abfallen zu lassen.

Auf diese grundsätzlichen Übertragungseigenschaften einer Hörhilfe wurde in deutschen Arbeiten von *Langenbeck* [7] bereits vor 1939 hingewiesen.

Ein Problem besonderer Bedeutung stellen die Störgeräusche einer Hörhilfe dar, die sich aus den verstärkt wiedergegebenen Raumgeräuschen und einem vom Gerät verursachten Anteil zusammensetzen. Der Grund für das stärkere Hervortreten der Raumgeräusche bei einer Hörhilfe sind nach Untersuchungen von *König* [8] in dem Hören mit nur einem Ohr zu suchen, wodurch die räumliche Zuordnung der akustischen Vorgänge verlorengeht. Die vom Gerät erzeugten Störungen wurden, um von der Verstärkung unabhängig zu sein, im Pegeldiagramm der Abb. 6 auf den Mikrofoneingang zurückgerechnet. Der Störpegel des Reibegeräusches ist naturgemäß erheblich von der Art des Tragens der Hörhilfe und von dem umgebenden Stoff abhängig. Das thermische Rauschen der Röhren und Widerstände, insofern als deren Eigengeräusch den üblichen Anforderungen genügt, ist gegenüber den sonstigen Störquellen, insbesondere den Raumgeräuschen zu vernachlässigen.

#### IV. Das elektrische Stethoskop

##### a) Akustische Anforderungen

Die medizinisch wichtigen Geräusche am menschlichen Körper umfassen einen Frequenzbereich von etwa 40 bis maximal 4000 Hz, die Komponenten über 4000 Hz sind so schwach, daß sie von Störgeräuschen verdeckt werden [9]. Von besonders wichtiger Bedeutung für die ärztliche Praxis sind die Schallerscheinungen von Herz und Lunge. Eine Analyse des Klangbildes des Herzschalles zeigt ein stärkeres Hervortreten der tieferen Komponenten um etwa 80...100 Hz. Die Geräusche während der Austreibungsphase des Herzens, der Systole und der Auffüllungsphase, der Diastole, haben ihre wesentlichen Komponenten im Bereich zwischen etwa 300...800 Hz. Bei patholo-

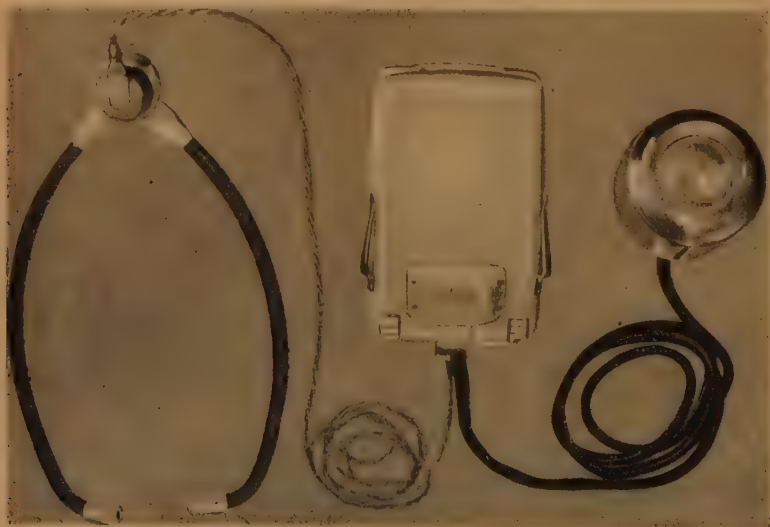


Abb. 7. Versuchsmodell eines elektrischen Stethoskopes der Firma Blaupunkt-Elektronik



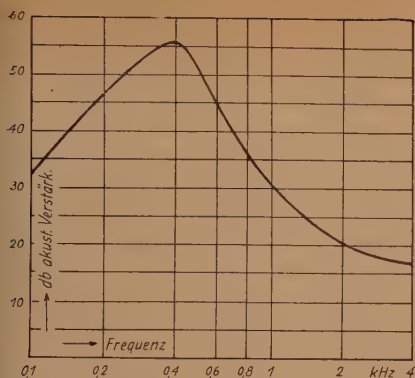


Abb. 8. Verstärkungscurve des elektrischen Stethoskopes nach Abb. 7

gischen Veränderungen an den Herzklappen können die Herztöne einen vom normalen sehr verschiedenen Charakter annehmen, wobei insbesondere typische Strömungsgeräusche auftreten. Die wichtigen Frequenzanteile der Grundtöne des Lungenschalles liegen zwischen etwa 150 und 1000 Hz, die Obertöne erstrecken sich bis zu 4000 Hz [10]. Berücksichtigt man neben den genannten Frequenzbereichen die abnehmende Ohrempfindlichkeit bei den Frequenzen unterhalb 500 Hz, so ergibt sich, daß die Verstärkung eines elektrischen Stethoskopes in diesem tiefen Frequenzbereich besonders angehoben werden muß.

Bei den in Frage kommenden Schallerscheinungen handelt es sich um Körperschall-schwingungen, die entweder über eine eingeschlossene Luftsäule oder über einen Taststift an den Druckempfänger (Mikrofon, Kristall- oder Magnetsystem) zugeleitet werden. Zur Wiedergabe der verstärkten Schwingungen kommt für ein Batteriegerät aus Leistungsgründen nur ein Kopfhörer in Frage, der weiterhin den Vorteil hat, daß tiefe Frequenzen besser wiedergegeben werden.

#### b) Technische Ausführung

Ein Versuchsmodell eines elektrischen Stethoskopes der Firma Blaupunkt-Elektronik ist in Abb. 7 dargestellt. Dieses Gerät entstand im Rahmen der Entwicklung von Schwerhörigengeräten und soll vor allem dem Arzt mit reduziertem Hörvermögen eine Auskultation ermöglichen. Berücksichtigt man, daß bereits der Normalhörende wegen der ungünstigen Lage des Frequenzbereiches und der geringen Amplituden Schwierigkeiten hat, alle Feinheiten wahrzunehmen, so genügt bereits ein geringer für die Sprachverständigung unwesentlicher Hörverlust, um die auskultatorische Diagnose unsicher werden zu lassen.

Praktische Versuche ergaben, daß die Störgeräusche bei der Handhabung, insbesondere beim Aufsetzen des Gerätes, sehr störend sind, weil durch diese das Ohr vertäuscht wird und dann eine gewisse Zeit braucht, bis die notwendige Empfindlichkeit wiederhergestellt ist. Diese Störungen waren bei Tastspitzen besonders groß. Aus diesem Grund wurde eine Ankopplung über eine Luftsäule gewählt, die außerdem den Vorteil hat, daß sie sich leicht auf den notwendigen tiefen Frequenzbereich abstimmen läßt. Das Verstärkergerät enthält, ähnlich einer Hörhilfe, 3 Subminiaturröhren und die Batterien. Mit Hilfe einer Tonblende können wahlweise tiefe bzw. hohe Tonlagen beschnitten werden, wobei die letztere Einstellung dazu dienen soll, unter Beschneidung der tiefen Herzschallkomponenten schwache Geräusche hervorzuheben. Die Abb. 8 zeigt die akustische Verstärkungscurve des genannten Gerätes, die mit Hilfe einer Druckkammer für den Mikrofoneingang und eines künstlichen Ohres für den Hörer gemessen wurde.

## Schrifttum

- [1] Geiger-Scheel, Handbuch der Physik, Bd. III, Akustik.
- [2] L. A. Watson und Th. Tolan, Hearing Tests and Hearing Instruments, Baltimore [1949].
- [3] A. J. Sanial, Service, Juni [1948], S. 25.
- [4] A. J. Sanial, Communications 25 [1945], S. 33.
- [5] H. Davis usw., Hearing Aids, Harvard University Press [1947].
- [6] Hearing Aids and Audiometers, London [1947]. Medical Research Council, Report Nr. 261.
- [7] B. Langenbeck, Z. f. Hals usw. Heilkunde 44 [1938] 225.
- [8] F. Trendelenburg, Klänge und Geräusche, Springer-Verlag [1935].
- [9] H. F. Olson, Acoustical Engineering, New York [1947].

*Wir beabsichtigen*

## **Sammelmappen für FUNK UND TON**

herstellen zu lassen und bitten freundlichst um möglichst schnelle Aufgabe der benötigten Stückzahl.

Die Mappe hat eine Metall-Einhängenvorrichtung, so daß ein nachträgliches Einbinden der Hefte nicht erforderlich ist.

*Preis: DMW 3,— zuzüglich 70 Dpf Porto.*

*Versand erfolgt unter Nachnahme.*

**FUNK UND TON, Berlin-Borsigwalde (Westsektor)**



## Die neuen CCIR-Beschlüsse

In Atlantic City ist 1947 der zweite Weltnachrichtenvertrag abgeschlossen worden. Er löst den ersten Weltnachrichtenvertrag (Madrid 1932) ab, der erstmalig die bis dahin bestehenden Einzelverträge, nämlich den internationalen Telegrafenvvertrag und den internationalen Funkvertrag, zu einem einheitlichen Vertragswerk zusammenfaßte. Der Weltnachrichtenverein hat seinen ständigen Sitz in Genf. Der Zweck des Vereines ist,

- a) die internationale Zusammenarbeit für die Verbesserung und die rationelle Verwendung aller Fernmeldeeinrichtungen aufrechtzuerhalten und zu erweitern;
- b) die Entwicklung der technischen Mittel und ihren zweckmäßigsten Betrieb zu fördern, um damit den Wirkungsgrad der Fernmeldedienste zu erhöhen und ihre Benutzung durch die Öffentlichkeit möglichst zu verallgemeinern;
- c) die Anstrengungen der Nationen zur Erreichung dieser gemeinsamen Ziele in Übereinstimmung zu bringen.

Die Organisation des Vereines umfaßt:

1. die Tagung der Bevollmächtigten,
2. die Verwaltungstagungen,
3. die nachstehend aufgeführten ständigen Einrichtungen:
  - a) den Verwaltungsrat,
  - b) das Generalsekretariat,
  - c) den zwischenstaatlichen Ausschuß für die Registrierung der Frequenzen (IFRB = International Frequency Registration Board),
  - d) den zwischenstaatlichen beratenden Ausschuß für Telegrafie (CCIT = Comité Consultatif International Télégraphique),
  - e) den zwischenstaatlichen beratenden Ausschuß für das Fernsprechwesen (CCIF = Comité Consultatif International Téléphonique),
  - f) den zwischenstaatlichen beratenden Ausschuß für das Funkwesen (CCIR = Comité Consultatif International des Radiocommunications).

Der zwischenstaatliche beratende Ausschuß für das Funkwesen (CCIR) ist beauftragt, über technische Fragen auf dem Gebiete des Funkwesens sowie über Betriebsfragen, deren Lösung hauptsächlich von funktechnischen Gesichtspunkten abhängt, Untersuchungen auszuführen und Empfehlungen herauszugeben.

Die Beschlüsse des CCI, an die sich sämtliche Post- und Funkverwaltungen halten sollen, werden in Form von Empfehlungen herausgegeben. Dieser Name wurde gewählt, weil das CCI an sich kein Recht hat, den einzelnen Staaten und ihren Postverwaltungen Vorschriften zu machen. Da aber beim Zustandekommen einer Empfehlung immer Einstimmigkeit sämtlicher Postverwaltungen besteht, entsprechen diese Empfehlungen also praktisch bindenden Vorschriften für die einzelnen Länder; sie sind das Ergebnis einer oft jahrelangen Bearbeitung eines technischen Problems. Um eine Empfehlung ausarbeiten zu können, wird der geplante Inhalt in Form einer *Frage* den beteiligten Stellen zugeleitet, z. B., welche Zeilenzahl soll beim Fernsehen für den internationalen Programmaustausch gewählt werden? Da zur Beantwortung

einer solchen Frage sehr oft Versuche oder theoretische Untersuchungen erforderlich sind, werden diese in Form eines Studienprogrammes bekanntgegeben, z. B. Bestimmung der Vor- und Nachteile der bisher in den einzelnen Ländern verwendeten Zeilenzahlen für den Fernsehrundfunk. Das Studienprogramm umreißt also den Umfang einer Arbeit, die zur Beantwortung einer gestellten Frage geleistet werden muß, bevor eine Empfehlung zustande kommen kann.

Die auf Grund der Studienprogramme und der Fragen durchgeführten Arbeiten der einzelnen Postverwaltungen werden von diesen einer zur Bearbeitung der Aufgaben bestimmten Studiengruppe zugestellt und von dieser nach nochmaliger Überarbeitung und Abgleichung der verschiedenen Ansichten in Form der zu beschließenden Empfehlung der Vollversammlung des CCIR vorgelegt. Dagegen wird die Form eines Berichtes gewählt, wenn die Studiengruppe der Ansicht ist, daß die Untersuchungen zu einer vorliegenden Frage noch nicht so weit fortgeschritten sind, um eine Empfehlung ausarbeiten zu können.

Auf der VI. Vollversammlung des CCIR, die im vergangenen Jahr im Juni in Genf abgehalten wurde, sind in den einzelnen Studiengruppen wieder eine Reihe neuer Empfehlungen verabschiedet worden, die im folgenden besprochen werden sollen. Es handelt sich um 49 Empfehlungen, die von 13 Studiengruppen ausgearbeitet worden sind. Wegen der Fülle des Materials ist es unmöglich, einen Bericht in auch nur gedrängter Form zu bringen, wenn man nicht nur die Titel der Empfehlungen angeben will. Es ist daher beabsichtigt, die Empfehlungen dieser Studiengruppen zusammenhängend nach den einzelnen Studiengruppen geordnet in Fortsetzungen darzustellen.

#### Studiengruppe Nr. 1: Sender

Empfehlung Nr. 36<sup>1)</sup> behandelt die Bandbreite der Aussendungen. Es ist äußerst wichtig, mit dem Frequenzspektrum sparsam umzugehen; deshalb muß der Abstand zwischen den Eckfrequenzen verringert werden. Als untere und obere Eckfrequenz bezeichnet man die Frequenzen, die an den Grenzen des Übertragungsbereiches liegen. Für die Bandbreite von Sendungen sind die Definitionen für die „belegte Bandbreite“ neu festgelegt worden. Die von einer Sendung „belegte Bandbreite“ ist das Frequenzband, das 99% der ausgestrahlten Gesamtleistung enthält, wobei jede einzeln auftretende Frequenz mit einzubeziehen ist, deren Leistung mindestens 0,25% der ausgestrahlten Gesamtleistung beträgt. Die bei einer Sendung unbedingt erforderliche Bandbreite ist der kleinste Wert der von einer Sendung belegten Bandbreite, der genügt, um die Übertragung einer Nachricht mit der gewünschten Güte am Ausgang der Empfangseinrichtung für eine bestimmte Sendung, für das benutzte System und für die vorgeschriebenen technischen Bedingungen sicherzustellen. Die Frequenzen, die vom Nutzband weiter wegliegen, z. B. die Oberwellen der Funkfrequenz, sollen nicht in die Definition der Strahlung außerhalb des Nutzbandes einbezogen werden. Vom wirtschaftlichen Standpunkt betrachtet ist die von einer Sendung belegte Bandbreite identisch mit der unbedingt erforderlichen Bandbreite. In diesem Fall beträgt die Strahlung außerhalb des Bandes im allgemeinen 1% der gesamten ausgestrahlten Leistung. Eine vollständige Angabe des Spektrums der Strahlung außerhalb des Bandes ist für die Beurteilung von Störungen, die an benachbarten Kanälen hervorgerufen werden, unentbehrlich. Als Einschwingzeit wird die Zeit festgelegt, in der sich

<sup>1)</sup> Die Empfehlungen Nr. 1 bis 35 wurden 1948 in Stockholm herausgegeben.



der Telegrafierstrom von ein Zehntel auf neun Zehntel (oder umgekehrt) desjenigen Wertes ändert, den er im eingeschwungenen Zustand erreicht. Bei unsymmetrischen Zeichen können sich auf Grund dieser Definition zwei verschiedene Werte ergeben, die die Einschwingzeiten am Anfang und am Ende des Zeichens darstellen. Bei der Gruppe der A 1-Sendungen mit starken Schwankungen handelt es sich um einzelne amplitudenmodulierte Kanäle für Dauerstrich-Telegrafie, die das Morsealphabet benutzen, wobei starke Schwankungen der Feldstärke vorhanden sind. Die unbedingt erforderliche Bandbreite ist gleich  $B \times K$ . B ist die Telegrafiergeschwindigkeit; K ist ein allgemeiner Zahlenfaktor, der von der Sendung abhängt. Für amplitudenmodulierte Telegrafiesendungen mit ungedämpften Wellen (A 1-Sendungen) ist für Verbindungen mit Schwund  $K = 5$ ; für Verbindungen ohne Schwund ist  $K = 3$ . Bei F 1-Sendungen, d. h. Telegrafiesendungen ohne Verwendung einer modulierenden Tonfrequenz (Frequenzverlagerungstastung) der Gruppe Frequenzmodulation, ist für einzelne frequenzmodulierte Telegrafiekkanäle mit Schwankungen der Feldstärke die unbedingt erforderliche Bandbreite gleich  $B K + 2 D$ , wobei  $K = 5$  ist; für Verbindungen ohne Schwund ist  $K = 3$ .  $2 D$  ist der Unterschied zwischen den größten und kleinsten Werten der augenblicklichen Frequenz; die augenblickliche Frequenz ist die Geschwindigkeit der Phasenveränderung des Vektors.

Obenstehender Ausdruck für die unbedingt erforderliche Bandbreite ist 1947 in Atlantic City festgelegt worden. In Genf wurden 1951 je nach dem vorhandenen Modulationsgrad m, wobei  $m = D/(B/2)$  ist, folgende Ausdrücke zur Berechnung empfohlen:

$$2,5 D + 0,5 B \text{ für } 2,5 \leq m \leq 8$$

$$2 D + 2,5 B \text{ für } 8 \leq m \leq 20$$

Bei Impulssendungen ist für nichtmodulierte Impulse (PO-Sendungen) die notwendige Bandbreite  $2 \frac{K}{t}$  wobei die Dauer des Impulses t ist. K liegt zwischen 1 und 10, je nach

der im einzelnen Fall zulässigen Abweichung eines Impulses von der rechteckigen Kurvenform. In vielen Fällen ist es nicht nötig, für K höhere Werte als 6 zu nehmen. Beispielsweise ist mit  $t = 3 \cdot 10^{-6}$  und  $K = 6$  die Bandbreite  $4 \times 10^6$  Hz. Für modulierte Impulse richtet sich die Bandbreite nach den Modulationsarten, von denen eine große Zahl gegenwärtig noch untersucht wird.

Empfehlung Nr. 37 behandelt die Messung der Bandbreite von Aussendungen. Der Grundgedanke der empfohlenen Methode besteht darin, die spektrale Zusammensetzung einer Sendung mit Hilfe schmaler Bandfilter zu analysieren. Es wird unterschieden, ob die Messung direkt am Sender oder in einiger Entfernung vom Sender durchgeführt wird.

Für die Messungen, die direkt am Sender durchgeführt werden, sind auf Grund der Eigenschaften, die untersucht werden sollen, zwei verschiedene Meßverfahren zu unterscheiden:

Bei der Untersuchung der einzelnen Spektrallinien für die Zusammensetzung des Spektrums der Sendung muß der Sender mit einem periodisch erscheinenden Zeichen moduliert werden. Jedes Element des Spektrums wird dann nacheinander einzeln gemessen. Auf diese Weise kann der fragliche Frequenzbereich bequem bestimmt

werden. Die Frequenzkonstanz der verschiedenen Oszillatoren ist dabei von größter Wichtigkeit.

Eine schnelle Untersuchung des Bandes kann durch Verwendung einer Kippfrequenz erfolgen, wobei die Kippamplitude und die Rücklauffrequenz der Schwingung so gewählt werden, daß die auf statistischer Grundlage beruhenden Meßergebnisse von Schwankungen unabhängig sind, die durch geringe Änderungen bei der Aufeinanderfolge der Zeichen hervorgerufen werden; die maximale Kippamplitude wird durch die Art des verwendeten Filters bestimmt.

Führt man Messungen in einiger Entfernung vom Sender durch, so muß man den Einfluß der Ausbreitungsbedingungen auf die Genauigkeit der Messung berücksichtigen. Messungen an einer einzelnen Station sollen mehrmals vorgenommen werden, um festzustellen, ob die Ausbreitungsbedingungen stabil und ob die gemachten Messungen genau genug sind.

Im weiteren Text dieser Empfehlung werden die Eigenschaften der Meßeinrichtung mit automatischer Frequenzkontrolle beschrieben.

Die Filterbandbreite soll gegenüber der Bandbreite des zu messenden Spektrums klein sein; die Dämpfungskurve soll schnell auf 60 db abfallen. Der Meßbereich soll so gewählt werden, daß die äußersten Seitenbandkomponenten noch erfaßt werden. Für direkte Beobachtung kann als Anzeige eine Katodenstrahlröhre benutzt werden. Der Meßbereich muß so beschaffen sein, daß Amplituden, die um 60 db voneinander verschieden sind, noch gemessen werden können, wobei die Amplitudenskala des Anzeigeinstrumentes linear oder logarithmisch sein kann. Die Frequenzkonstanz der verschiedenen Generatoren muß so beschaffen sein, daß der Frequenzgang während einer Messung gegenüber dem effektiven Auflösungsvermögen des Filters klein bleibt.

Empfehlung Nr. 38 behandelt Oberwellen und Störstrahlungen. Der Oberwellengehalt eines Funksenders soll durch ein Substitutionsverfahren gemessen werden, wobei der Sender auf seine Grundfrequenz abgestimmt und mit seiner Antenne oder mit einer Scheinlast verbunden ist. In dem Substitutionsverfahren wird ein Hilfsgenerator, dessen Leistung verstellbar und dessen Frequenz gleich der der zu messenden Oberwellen ist, folgendermaßen verwendet:

Der Hilfsgenerator wird an die Stelle des Funksenders gesetzt und die Ausgangsleistung wird so eingestellt, daß sie die gleiche Feldstärke bei der Oberwelle erzeugt, die von dem Sender hinsichtlich Intensität und Polarisierung erzeugt wird. Diese Größen werden mit einem Funkempfänger gemessen, der die Oberwellen empfängt, und der in einer Entfernung von einigen Wellenlängen von der Sendeantenne aufgestellt ist. Wird eine Scheinlast verwendet, so ist ein Indikator, der mit der Last gekoppelt wird, erforderlich. Dann ist die Leistung der Oberwellen, die vom Hilfsgenerator erzeugt werden, gleich der Leistung, die von dem zu untersuchenden Sender erzeugt würde. Feldstärkemessungen von Oberwellen an vom Sender entfernt liegenden Stellen können dazu benutzt werden, um die Stärke von Störzeichen anzugeben, die durch Oberwellenausstrahlung entstehen. Um die Oberwellen möglichst zu unterdrücken, werden die Verwendung von Tiefpässen oder anderen Ausgangsfiltern bzw. geeignete Kopplungsnetzwerke empfohlen. Die einzelnen Stufen sind bei Sendern, Filtern und anderen Teilen der Einrichtung abzuschirmen.

Empfehlung Nr. 39 behandelt die Frequenzumtastung. Der Wert der Frequenzumtastung für ein System, das nur zwei Frequenzen benutzt, eine für das Zeichen und eine für die Pause, wird als Unterschied zwischen der gesendeten Frequenz für den Arbeitsstrom und der gesendeten Frequenz für den Ruhestrom definiert. Die Frequenzumtastung wird bei drahtloser Telegrafie für feststehende Stationen verwendet. Es ist erwünscht, die wesentlichen Kennzeichen der Frequenz-Umtastsysteme zu normen. Verfrüht scheint es jedoch, die zur Zeit üblichen Werte der Frequenzumtastung zu normen; aber es sollte unbedingt dafür gesorgt werden, daß das Ziel möglichst schnell erreicht wird. Als Wert für die benutzte Frequenzumtastung soll der kleinste genommen werden, der mit der geforderten Tastgeschwindigkeit, den Ausbreitungsbedingungen und der Stabilität der Einrichtung vereinbar ist. Für die Frequenzumtastung werden Werte wie 70, 100, 140, 200, 280, 400, 560 und 840 Hz vorgeschlagen. Der Wert der Frequenzumtastung soll möglichst innerhalb  $\pm 3\%$  und auf jeden Fall innerhalb  $\pm 10\%$  des Nennwertes liegen. Im allgemeinen soll die höhere Frequenz für den Arbeitsstrom und die niedrigere Frequenz für den Ruhestrom verwendet werden.

Empfehlung Nr. 40 behandelt interkontinentale Funksprechsysteme und die Verwendung von Funksprechverbindungen bei zwischenstaatlichen Fernsprechkreisen. Funksprechsysteme, die zwischen verschiedenen Erdteilen arbeiten, benutzen zur Zeit in der Regel Trägerfrequenzen von etwa 30 MHz. Die Verwendung einer Funkverbindung im Fernsprechverkehr auf große Entfernungen erfordert einige Sondermaßnahmen, die Schwierigkeiten enthalten, welche bei rein metallischen Verbindungen nicht auftreten. Eine Funksprechverbindung unterscheidet sich von einer Drahtverbindung in folgenden Punkten: Bei einer Funksprechverbindung ändert sich die Dämpfung auf Grund der Schwunderscheinungen; außerdem treten atmosphärische Störungen auf, deren Stärke dieselbe Größenordnung hat wie die des zu übertragenden Signals. Besondere Vorsichtsmaßnahmen müssen getroffen werden, um Störungen von dem Funkempfänger fernzuhalten, die durch irgendeinen Funksender, vor allem durch den eigenen Funksender, hervorgerufen werden können. Bei zweidrahtmäßigem Fernsprechananschluß auf beiden Seiten des drahtlosen Gegensprechverkehrs kann außer Echoerscheinungen noch eine Rückkopplung über den Weg: Sender 1 — Empfänger 2 — Sender 2 — Empfänger 1 — Sender 1 auftreten. Auch durch Verwendung von Gabelschaltungen kann die Rückkopplung nicht vollständig vermieden werden, da die Dämpfung der drahtlosen Strecken infolge von Schwunderscheinungen starken Schwankungen unterworfen ist, die durch Schwundregelschaltungen verringert werden können. Eine bessere Möglichkeit zur Vermeidung von Rückkopplungsstörungen ist die Verwendung von Rückkopplungssperren. Damit die Funksprechverbindung gute Übertragungseigenschaften aufweist, ist es erforderlich, besondere Messungen durchzuführen, um sich zu überzeugen, daß der Funksender möglichst immer mit Vollast arbeitet, wobei die Eigenschaften und die Dämpfung des Fernsprechsystems, mit dem der Funksprechkreis verbunden ist, dabei keine Rolle spielen. Es sind Maßnahmen zu treffen, daß keine Schwingungen mit abnormen Amplituden oder zu starkes Nebensprechen auftreten. Obwohl das tatsächlich übertragene Frequenzband, das für zwischenstaatliche Landverbindungen empfohlen worden ist, auf Grund einer Untersuchung über die Anforderungen, die das menschliche Ohr verlangt, festgelegt worden ist, muß dieses Band begrenzt werden, damit in dem in Betracht kommenden Teil des Frequenzspektrums möglichst viele Fernsprechkanäle untergebracht werden können,



und damit jeder Kanal nur das unbedingt erforderliche Frequenzband belegt. Zwischen feststehenden Stationen sollen Fernsprechverbindungen nach Möglichkeit mit metallischen Leitern (Kabel oder Freileitungen) oder mit Funkverbindungen im Frequenzbereich über 30 MHz hergestellt werden: Die vom CCIF für zwischenstaatliche Fernsprechkreise empfohlene Übertragungsgüte soll möglichst erreicht werden. Wenn es jedoch bei interkontinentalen Verbindungen erforderlich ist, daß das Frequenzband begrenzt wird, so empfiehlt es sich, Einseitenband-Übertragungen zu verwenden, wobei ein Übertragungsbereich benutzt wird, der kleiner ist als der vom CCIF für landgebundene Verbindungen empfohlene Bereich von 300 bis 3400 Hz. Für den Normalfall legt man die obere Frequenzgrenze auf 3 kHz, in Ausnahmefällen auf 2,6 kHz. Bei einer solchen Funksprechverbindung muß man für den Rauschpegel große Toleranzen zulassen. Man muß dafür sorgen, daß möglichst wenig Störungen infolge von Leitungsgeräuschen und Fadings auftreten. Dies wird durch technische Maßnahmen wie volle Aussteuerung bei der Modulation des Senders, Richtantennen und Einseitenbandbetrieb erreicht. Zur Zeit kann jedoch weder ein Minimalwert für den Geräuschabstand noch eine Meßmethode für das Störgeräusch empfohlen werden. Solange eine derartige Funksprechverbindung mit einer langen Leitung verbunden ist, die mit Echosperren ausgerüstet ist, muß dafür gesorgt werden, daß die Störströme die Echosperren nicht allzuhäufig in Tätigkeit setzen. Die Endgeräte einer Funksprechverbindung müssen genau so wie jeder andere Sprechkreis mit einem beliebigen Sprechkreis zusammengeschaltet werden können.

*(Fortsetzung folgt.)*

# Laplace-Transformation

## Entwicklungssätze

Die im Beitrag „Allgemeine Sätze über die Laplace-Transformation“<sup>(1)</sup> angegebenen Rechenregeln können zur Rücktransformation von dem Unterbereich nach dem Oberbereich verwendet werden. Eine wesentliche Vereinfachung der Rechnung kann durch folgende Entwicklungssätze erzielt werden, von denen der erste auf Heaviside zurückgeht. Die Funktion  $f(p)$  habe die Form

$$f(p) = \frac{F(p)}{G(p)} = \frac{a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + \dots}{b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \dots} \quad (1)$$

wobei  $F(p)$  und  $G(p)$  ganze rationale Funktionen sind mit reellen Koeffizienten und beständig konvergenten Potenzreihen, oder, wenn sie durch einen geschlossenen Ausdruck gegeben sind, durch eine Reihe dargestellt werden können; denn eine durch die Laplace-Transformation eindeutig gegebene Funktion ist im Inneren des Bereiches regulär.

Die gebrochene rationale Funktion (1) kann durch die „Methode der Partialbruchzerlegung“ in eine Reihe von Teilbrüchen zerlegt werden.

### a) Einfache Wurzel

#### 1. Der Grad von $G(p)$ ist höher als der von $F(p)$ :

Man bestimmt die Wurzeln  $p_i$  der Gleichung  $G(p) = 0$ . Die Auflösung einer Gleichung  $n$ -ten Grades bereitet nicht unerhebliche Schwierigkeiten. Das bekannteste Näherungsverfahren zur Lösung von Gleichungen  $n$ -ten Grades ist das sogenannte Graeffesche Verfahren. Während das Lösungsverfahren mittels des Hornerischen Schemas auf dem Gedanken beruht, die Wurzeln der Gleichung einzeln in der Weise zu berechnen, daß man sich zunächst Näherungswerte verschafft, die man mit dem Newtonschen Näherungsverfahren bis zu beliebiger Genauigkeit verfeinert, können mit diesem Verfahren alle Wurzeln  $p_i$  ohne Näherungswerte ermittelt werden.

Der Grundgedanke des Graeffeschen Verfahrens ist folgender:

Die Wurzeln der Gleichung

$$G(p) = b_n p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots + b_1 p + b_0 = 0 \quad (2)$$

seien  $p_i$  mit  $(i = 1, 2, \dots, n)$ . Man kann leicht aus  $G(p)$  dadurch, daß man mit  $\pm G(-p)$  multipliziert und nach Potenzen von  $p$  ordnet, eine neue Gleichung  $G_1(p) = 0$  ableiten, deren Wurzeln die Quadrate  $p_i^2$  der Wurzeln der gegebenen Gleichung  $G(p) = 0$  sind. Ob man nun das positive oder negative Vorzeichen nimmt, richtet sich nach dem Grad der Gleichung  $G(p)$ . Jedenfalls soll der höchste Grad der Gleichung  $G_1(p)$  positiv sein. Die Multiplikation erfolgt in der Weise, daß man das Produkt in einem Schema gleich nach Potenzen ordnet. Dieses Multiplikationsverfahren kann man nun fortsetzen, und man gelangt schließlich zu einer Gleichung, deren Wurzeln die  $2^n$ ten

<sup>1)</sup> s. FUNK UND TON Bd. 6 [1952], H. 7, S. 369...373.

Potenzen der Wurzeln von  $G(p) = 0$  sind. Das Verfahren wird so lange fortgesetzt, bis die Fortführung immer gleiche Werte der Wurzeln bringt. Die aufeinanderfolgenden Wurzeln jedoch werden, je weiter man in der Bildung voranschreitet, immer mehr „auseinandergezogen“. Ist nun

$$G_v(p) = c_n (p^v)^n + c_{n-1} (p^v)^{n-1} + \dots + c_1 p^v + c_0 = 0 \quad (3)$$

eine Gleichung, deren Wurzeln  $\xi_\lambda = p^\lambda$  (3a) mit  $(\lambda = 1, 2 \dots n)$  die  $v$ -ten Potenzen der Wurzeln der vorgelegten Gleichung  $G(p)$  sind, so ergibt sich für die Summe der Wurzeln  $\left(-\frac{c_{n-1}}{c_n}\right)$ , für die Summe aller Produkte aus je zwei Wurzeln  $\left(\frac{c_{n-2}}{c_n}\right)$  und für die Summe aller Produkte aus je drei Wurzeln  $\left(-\frac{c_{n-3}}{c_n}\right)$  usw.

Ist  $v$  genügend groß, so ist die größte Wurzel  $\xi_1$  wesentlich größer als die darauffolgende  $\xi_2$  usw., d. h. bei der Summe  $(\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n)$  wird die Partialsumme  $(\xi_2 + \xi_3 + \dots + \xi_n)$  gegenüber  $\xi_1$  nicht in Betracht kommen, so daß bis auf einen kleinen Fehler gesetzt werden kann

$$\begin{aligned} \xi_1 &= -\frac{c_{n-1}}{c_n} \\ \xi_1 \cdot \xi_2 &= +\frac{c_{n-2}}{c_n} \\ \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 &= -\frac{c_{n-3}}{c_n} \text{ usw.} \end{aligned} \quad (3b)$$

Daraus ergibt sich

$$\begin{aligned} \xi_1 &= -\frac{c_{n-1}}{c_n} \\ \xi_2 &= +\frac{c_{n-2}}{c_{n-1}} \\ \xi_n &= \pm \frac{c_1}{c_0} \end{aligned} \quad (3c)$$

und schließlich

$$|p_\lambda| = \sqrt[v]{\xi_\lambda} \quad (3d)$$

Die Vorzeichen bestimmt man am besten durch probeweises Einsetzen der Werte der Wurzeln in die Gleichung (3). Man kann unter Bezugnahme auf die Gleichungen (3c) und (3d) auch sagen, daß die Gleichung (3b) sich in eine Reihe von  $n$ -linearen Gleichungen „spaltet“, die man erhält, wenn man je zwei aufeinanderfolgende Glieder zusammensetzt, nämlich

$$\begin{aligned} c_n \xi + c_{n-1} &= 0 \\ c_{n-1} \xi + c_{n-2} &= 0 \text{ usw.} \end{aligned} \quad (3e)$$



Treten bei der vorgelegten Gleichung  $G(p)$  komplexe Wurzeln auf, so spalten sich nicht nur lineare Gleichungen ab, sondern auch quadratische. Kennzeichen dafür ist, daß beim Fortschreiten der Potenzierung für den entsprechenden Koeffizienten das Produkt aus dem Koeffizienten der benachbarten Glieder in die Größenordnung des Quadrates kommt, während sonst dieser Einfluß immer geringer wird und der Koeffizient selbst schließlich gleichbleibt. Das Abspalten einer oder mehrerer quadratischer Gleichungen mit komplexen Wurzeln bei der Durchführung der Rechnung liefert also von selbst ein Kriterium für das Vorhandensein solcher Wurzeln in der vorgegebenen Gleichung. Sind die Wurzeln bekannt, so kann man  $G(p)$  in folgender Form schreiben

$$G(p) = b \prod_{i=1}^n (p - p_i), \quad (4)$$

wobei  $b$  der Koeffizient der höchsten Potenz im Polynom  $G(p)$  ist. Als erste Ableitung von  $G(p)$  an der Stelle  $p_v$  ergibt sich daraus

$$G'(p) = b \cdot \prod_{i \neq v} (p - p_i); \quad (4a)$$

dann lautet die Teilbruchzerlegung von  $\varphi(p)$

$$\varphi(p) = \frac{F(p)}{G(p)} = \frac{A_1}{p - p_1} + \frac{A_2}{p - p_2} + \dots + \sum_v \frac{F(p_v)}{(p - p_v) G'(p_v)} \quad (5)$$

mit

$$A_v = \frac{F(p_v)}{b \cdot \prod_{i \neq v} (p_v - p_i)} = \frac{F(p_v)}{G'(p_v)} \quad (5a)$$

2. Der Grad von  $F(p)$  ist höher als der von  $G(p)$ :

Man spaltet eine ganze rationale Funktion  $Q(p)$  ab, deren Glieder nach den Regeln<sup>1)</sup> (Gleichung (1) und (7) in den Oberbereich transformiert werden können.

$$\varphi(p) = \frac{F(p)}{G(p)} = Q(p) + \frac{P(p)}{Z(p)} \quad (6)$$

3.  $F(p)$  und  $G(p)$  sind von gleichem Grade:

In diesem Falle kann der Quotient wie folgt umgeformt werden

$$\varphi(p) = \frac{F(p)}{G(p)} = \frac{b}{c} + \frac{F(p) - b/c G(p)}{G(p)}, \quad (7a)$$

und man erhält damit neben dem Glied  $\frac{b}{c}$  eine echt gebrochene Funktion.  $\frac{b}{c}$  selbst

stellt den Grenzwert des Quotienten  $\frac{F(p)}{G(p)}$  für  $p = \infty$  dar, und man bekommt für

die Zerlegung die Beziehung

$$\varphi(p) = \frac{F(p)}{G(p)} = \frac{F(\infty)}{G(\infty)} + \sum_v \frac{F(p_v)}{(p - p_v) G'(p_v)} \quad (7)$$

<sup>1)</sup> Doetsch, Theorie und Anwendung der Laplace-Transformation. Springer, Berlin [1937].

## b) Mehrfache Wurzeln

Es wird angenommen, daß der Nenner neben den  $n$ -Wurzeln  $p_1 \dots p_n$  noch eine  $k$ -fache Wurzel  $p_0$  hat. Er ist also vom Grade  $(n + k)$ . Für diesen Fall bekommt man im End-  
ergebnis für die Teilbruchzerlegung die Gleichung

$$\varphi(p) = \frac{F(p)}{G(p)} = \left[ M^{(0)} + \sum_{v=1}^{k-1} \frac{(p-p_0)^v M^{(v)}}{v!} \right] + (p-p_0)^k \sum_{v=1}^n \frac{A_v}{p-p_v} \quad (8)$$

mit

$$\left. \begin{aligned} M^{(0)} &= M(p_0) = \frac{F(p_0)}{G(p_0)} \\ M^{(v)} &= \left( \frac{d^v M}{d p^v} \right)_{p=p_0} \end{aligned} \right\} \quad (8a)$$

und

$$A_v = \frac{F(p_v)}{(p_v - p_0)^k G'(p_v)} \quad (8b)$$

Unter Berücksichtigung der Ausführungen über die Partialbruchzerlegung und der Bestimmungen über das Einschleifen der Pole bei Berechnung der Oberfunktion wird

$$A(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{C_1-j\infty}^{C_1+j\infty} \frac{F(p)}{p G(p)} e^{pt} dp \quad (9)$$

Gemäß den Festlegungen in Gleichung (10)<sup>2)</sup> bekommt man für die Oberfunktion  $A(t)$  den einfachen Entwicklungssatz von Heaviside, wenn man einfache Pole annimmt

$$A(t) = \frac{F(0)}{G(0)} + \sum_{v=1}^n \frac{F(p_v)}{p_v G'(p_v)} e^{p_v t} \quad \text{für } t > 0 \quad (10)$$

Für den Fall, daß außer  $n$  einfachen Wurzeln eine  $k$ -fache Wurzel  $p'$  vorhanden ist, erweitert sich die Formel (10) unter Einbeziehung der Ausdrücke (8) und (8a) wie folgt

$$A(t) = \frac{F(0)}{G(0)} + \sum_{\substack{v=1 \\ v \neq v'}}^n \frac{F(p_v)}{p_v G'(p_v)} e^{p_v t} + \frac{1}{2\pi j} \oint_{p=p'} \frac{F(p)}{p G(p)} e^{pt} dp \quad (11)$$

wobei das Hüllintegral über den  $k$ -fachen Pol  $p'$  durch folgende Reihenentwicklung dargestellt wird

$$\frac{1}{2\pi j} \oint_{p=p'} \frac{F(p)}{p G(p)} e^{pt} dp = \left[ \frac{\Phi^{(k-1)} t^{k-1}}{(k-1)!} + \frac{\Phi^{(k-2)} t^{k-2}}{(k-2)! 1!} + \frac{\Phi^{(k-3)} t^{k-3}}{(k-3)! 2!} + \dots + \frac{\Phi^{(0)} t^0}{(k-1)!} \right] \quad (11a)$$

<sup>2)</sup> K ü p f m ü l l e r, Die Systemtheorie der elektrischen Nachrichtenübertragung, Hirzel, Stuttgart [1949].

Es bedeutet darin

$$\left. \begin{aligned} \Phi^{(0)} &= \frac{F(p \nu)}{p^\nu G_k(0)} \\ \Phi^{(\nu)} &= \left( \frac{d^\nu \Phi}{d p^\nu} \right)_{p=p \nu} \end{aligned} \right\} \quad (11b)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{und} \quad G_k(\xi) &= b_0 + b_1 \xi + b_2 \xi^2 + \dots, \quad \text{mit } b_0 \neq 0 \\ \text{und mit} \quad \xi &= (p - p_\nu) = r_\nu e^{j\varphi} \end{aligned} \right\} \quad (11c)$$

Die Formel von Heaviside, die für die Einheitskraft gilt, kann nun für das Einschalten einer Wechselkraft  $K(t)$  erweitert werden. Man denkt sich  $K(t)$  durch sein kontinuierliches Frequenzspektrum dargestellt, nämlich

$$K(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \frac{\varphi(p)}{p} e^{pt} dp, \quad (12)$$

wobei  $\varphi(p)$  die L-Transformierte von  $K(t)$  bedeutet

$$\varphi(p) = \mathcal{L} K(t) = p \int_0^\infty K(t) e^{-pt} dt \quad (13)$$

Die Systemgröße ergibt sich somit gemäß Gleichung (1) der Arbeit<sup>3)</sup> zu

$$S(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \frac{f(p) \cdot \varphi(p)}{p} e^{pt} dp \quad (14)$$

Für den speziellen Sonderfall einer rein harmonischen Wechselkraft gilt

$$K(t) = e^{j\omega t} \cdot 1 \quad (15)$$

Um den Fall einer beliebigen Einschaltphase zu erfassen, rechnet man zweckmäßig mit der komplexen Kraft

$$K(t) = [K_1 \cos \varphi + K_2 \sin \varphi] \cdot 1 \quad (15a)$$

Die Unterfunktion zu  $e^{j\omega t}$  ist

$$\varphi(p) = \frac{p}{p - j\omega}, \quad (16)$$

und damit wird

$$K(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \frac{e^{pt}}{p - j\omega} dp \quad (17)$$

<sup>3)</sup> Kirschner, Allgemeine Sätze über die Laplace-Transformation. FUNK UND TON Bd. 6 [1952], H. 10, S. 541...547.



und schließlich der zeitliche Verlauf der Systemgröße

$$S(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \frac{f(p)}{(p-j\omega)} e^{pt} dp \quad (18)$$

Läßt sich  $f(p)$  wieder als Verhältnis ganzer Funktionen darstellen, wie in (1) und (2), so ergibt sich als Entwicklungssatz für das Einschalten einer harmonischen Wechselkraft der Frequenz  $\frac{\omega}{2\pi}$  die Beziehung unter der Voraussetzung einfacher Pole

$$S(t) = \frac{F(j\omega)}{G(j\omega)} e^{j\omega t} + \sum_v \frac{F(p_v) e^{p_v t}}{(p_v - j\omega) G'(p_v)} \quad (19)$$

Hat die Stelle  $p = p_v$  einen  $k$ -fachen Pol, so erweitert sich die Formel zu

$$S(t) = \frac{F(j\omega)}{G(j\omega)} e^{j\omega t} + e^{p_v t} \left[ \frac{\Phi^{(k-1)}}{(k-1)!} + \frac{\Phi^{(n-2)} t}{(k-2)! 1!} + \dots + \frac{\Phi^{(0)} t^{k-1}}{(k-1)!} \right] + \sum_{v=1}^n \frac{F(p_v) e^{p_v t}}{(p_v - j\omega) G'(p_v)}, \quad (20)$$

wobei bedeuten

$$\left. \begin{aligned} \Phi(p) &= \frac{F(p)}{(p-j\omega) G_k(\xi)} \\ \Phi^{(0)} &= \frac{F(p_v)}{(p_v - j\omega) G_k(0)} \\ \Phi^{(v)} &= \left[ \frac{d^v \Phi}{d p^v} \right]_{p=p_v} \end{aligned} \right\} \quad (20a)$$

und

$$G_k(\xi) = b_0 + b_1 \xi + b_2 \xi^2 + \dots \quad (20b)$$

mit

$$\xi = (p - p_v) = r_v e^{j\varphi}$$

Das Verfahren zur Berechnung von  $S(t)$  aus Gleichung (14) kommt also mathematisch, wie dargelegt, auf die Entwicklung der Gleichung nach den Residuen des Integranten hinaus.

Diese Methode, angewendet für den allgemeinen Fall eines beliebigen, zeitlichen Verlaufes der äußeren Kraft, ergibt mit der Abkürzung

$$\frac{f(p) \cdot \varphi(p)}{p} = H(p) \quad (21a)$$

die Beziehung

$$S(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} H(p) e^{pt} dp = \sum_p \frac{1}{2\pi j} \oint_{p=p_p} H(p) e^{pt} dp \quad (21)$$

Nimmt man einen  $k$ -fachen Pol  $p_p$ , nämlich

$$H(p) = \frac{M(p)}{(p - p_p)^k} \quad (22a)$$

(der nach Abspalten des Nenners verbleibende Faktor  $M(p)$  muß in der Umgebung der Stelle  $p = p_p$  regulär sein und darf nicht verschwinden), so bekommt man das Umlaufintegral um den bestimmten Pol  $p_p$

$$\frac{1}{2\pi j} \oint_{p=p_p} H(p) e^{pt} dp = C_{K-1} e^{p_p t} \quad (22b)$$

und schließlich als Endergebnis

$$S(t) = \sum_p C_{K-1} e^{p_p t}, \quad (22)$$

wobei  $C_{K-1} e^{p_p t}$  das Residuum des Poles bedeutet mit

$$C_{K-1} = \sum_{v=0}^{v=k-1} \frac{M^{(v)}(p_p) t^{k-1-v}}{v! (k-1-v)!} \quad (22c)$$

Für einen einfachen Pol mit  $k=1$  bleibt von obiger Summe nur das Glied  $C_0 = M(p_p)$  übrig.

Läßt sich  $f(p) \cdot \varphi(p)$  darstellen durch eine ganz rationale Funktion der Form

$$f(p) \cdot \varphi(p) = \frac{N(p)}{P(p)}, \quad (23a)$$

so lautet das normale Glied der Entwicklung (22) für einfache Pole

$$S_p(t) = M(p_p) e^{p_p t} = \frac{N(p_p)}{p_p P'(p_p)} e^{p_p t} \quad (23)$$

\* \* \*

## Analyse der Taylor-Modulation

*Dieses Modulationsverfahren ist in entsprechender Form bereits seit etwa 1936 unter dem Begriff Doherty-Endverstärker<sup>1</sup> bekannt. Für Rundfunksender wird dieses Verfahren u. a. in Frankreich und USA angewandt. Nachteilig im Betrieb ist die etwas schwierige Einhaltung der richtigen Phasenwinkel, was besonders beim Wellenwechsel bedeutungsvoll ist. Im Vergleich zur Anodenmodulation werden bei diesem Verfahren die Röhren mit dem doppelten Anodenstrom beansprucht. Auch die nicht-lineare Modulationskennlinie der Hilfsröhre, die im C-Betrieb arbeitet, kann bei einigen Senderzwecken hinderlich sein, wenn nicht Gegenkopplungen benutzt werden, mit denen die Verzerrungen klein gehalten werden können. In Deutschland wird dieses Modulationsverfahren unseres Wissens nach nicht benutzt, da man Bedenken hat, den heutigen wassergekühlten Senderröhren die erhebliche Gitterverlustleistung zuzumuten, die bei dieser Modulationsart auftritt. Immerhin besteht aber in Kreisen der KW-Amateure einiges Interesse an dieser u. U. „effektiv“ zu machenden Modulation, so daß hier einige Dimensionierungshinweise gebracht seien, die eigentlich für die im gleichen Verlag erscheinende populärer gehaltene FUNK-TECHNIK bestimmt waren und wegen Raum Mangels hier abgedruckt werden.*

Die Taylormodulation stellt eine an den Steuergittern bewirkte reine Amplitudenmodulation dar und ist damit als Abart der normalen Gittermodulation zu betrachten. Ihre besondere Eigenart besteht darin, daß die in der modulierten Senderstufe verwendeten beiden Röhren während des Modulationsvorganges voneinander verschiedene Funktionen ausüben. Die im Prinzipschaltbild, Abb. 1, mit  $V_1$  bezeichnete Röhre wird zur Erzeugung des Trägers benutzt und arbeitet dabei mit optimalem Wirkungsgrad, d. h. etwa im Telegrafieoberstrich. Demzufolge kann aber die von ihr abgegebene HF-Leistung nur den negativen Modulationsamplituden folgen, so daß während des positiven Modulationshalbwechsels die Spitzenröhre  $V_2$  in Funktion treten und die im NF-Scheitelpunkt bis zum Vierfachen des Trägerwertes heraufgehende HF-Leistung liefern muß. Daher stellt auch die Leistungsfähigkeit der Spitzenröhre den begrenzenden Faktor eines Taylorsenders dar. Als hochfrequenter Betriebszustand für die Träger- sowie für die Spitzenröhre kann, da für eine korrekte Amplitudenmodulation die Linearitätsbedingung zwischen den den Gittern aufgedrückten Spannungen und der am Anodenschwingkreis auftretenden HF-Spannung gewahrt bleiben muß, nur der B-Verstärker in Frage kommen.

Soll daher ein Taylorsender mit, wie es zumeist üblich ist, je einer Röhre des gleichen Typs als Träger- und Spitzenröhre untersucht werden, so ist zuerst die bei der zur Verfügung stehenden Anodengleichspannung mit der Spitzenröhre im B-Betrieb maximal und unverzerrt erzielbare HF-Effektivleistung festzustellen. Die Betriebs-

<sup>1</sup>) W. H. Doherty: A new high efficiency power amplifier for modulated waves, Proc. Inst. Radio Engr. 24 [1936], S. 1163.



bedingungen der Trägerröhre sind dann so zu wählen, daß sie gerade ein Viertel dieser Leistung abgibt. Wenn, um die Rechnung einfach und übersichtlich zu halten, die Röhrenkennlinie als ideal gerade und die Modulationsfrequenz als sinusförmig angenommen werden, so lassen sich aus dem  $U_a - I_a$ -Kennlinienfeld der betreffenden Röhrentype sämtliche Betriebswerte der beiden Röhren eines Taylorsenders ableiten. Abb. 2 zeigt das Kennlinienfeld für die RL 12 P 50 (LS 50) bei einer Schirmgitterspannung von 250 Volt, die im vorliegenden Fall für beide Röhren gelten soll. Für die Spitzenröhre muß dabei vom Arbeitspunkt des klassischen B-Verstärkers ausgegangen — Punkt „A“ in Abb. 2 für eine Anodenspannung von 1000 Volt — und der maximal erzielbare

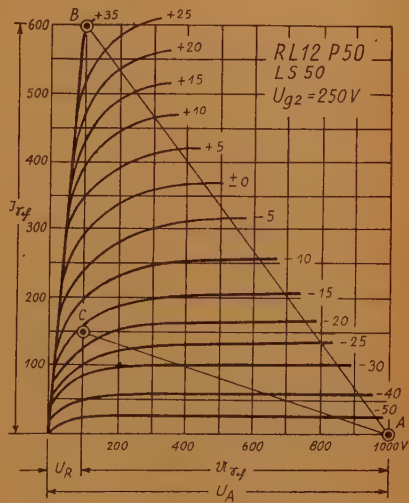
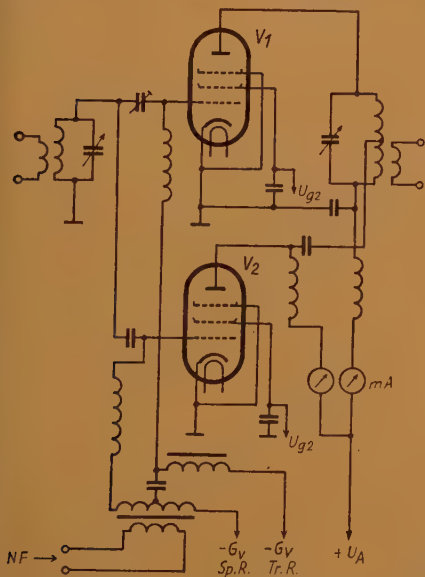


Abb. 2 Kennlinienschar der RL12 P 50 LS50

Links: Abb. 1 Prinzipschaltung eines Taylorsenders

HF-Scheitelwert für den Anodenstrom  $\mathfrak{I}_{\text{eff}}$ , dargestellt durch Punkt „B“, festgelegt werden. Gleichzeitig ergibt sich damit der Scheitelwert der am Steuergitter benötigten HF-Steuerspannung. Für den normalen Betrieb jedoch muß die negative Vorspannung auf den Wert eingestellt werden, der sich aus der Summe der statischen Sperrspannung und dem Scheitelwert der HF-Steuerspannung ergibt, und der Scheitelwert der niederfrequenten Modulationsspannung muß gleich dem der HF-Steuerspannung sein. Die Spitzenröhre ist dann während des negativen Modulationshalbwechsels und im unmodulierten Zustand gesperrt, während im positiven Modulationsscheitel ihr Arbeitspunkt, hochfrequenzmäßig gesehen, den des klassischen B-Verstärkers erreicht und die Röhre damit in diesem Moment ihre maximale Leistung abgibt. Diese Leistung berechnet sich

		Effektivfaktor	Zeitfaktor	
aus	$\mathcal{R}_{\text{max (eff.)}} = \mathfrak{I}_{\text{eff}} \times u_{\text{eff}}$	$\times 0,5$	$\times 0,5$	(1)
zu	$\mathcal{R}_{\text{max (eff.)}} = \frac{\mathfrak{I}_{\text{eff}} \times \alpha U_A}{4}$			(2)

wobei  $\alpha$  den Ausnutzungsfaktor der Anodenspannung darstellt und sich zu

$$\alpha = \frac{U_A - U_R}{U_A} \quad (3)$$

errechnet. Der sich im modulierten Zustand einstellende Anodengleichstrom der Spitzenröhre beträgt

$$I_A (\text{Sp.R.}) = \mathfrak{I}_{\mathfrak{E}\mathfrak{d}\mathfrak{f}} \begin{matrix} \text{HF-Mittelwert} \\ \times 0,636 \end{matrix} \quad \text{HF-Zeit} \quad \begin{matrix} \text{NF-Mittelwert} \\ \times 0,636 \end{matrix} \quad \text{NF-Zeit} \quad \times 0,5 \quad (4)$$

$$= \mathfrak{I}_{\mathfrak{E}\mathfrak{d}\mathfrak{f}} \times 0,101 \approx \mathfrak{I}_{\mathfrak{E}\mathfrak{d}\mathfrak{f}} \times 0,1 \quad (5)$$

Der Außenwiderstand muß dabei

$$\mathfrak{R}_A (\text{Sp.R.}) = \frac{\alpha U_A}{\mathfrak{I}_{\mathfrak{E}\mathfrak{d}\mathfrak{f}}} \quad (6)$$

sein.

Da die Betriebsbedingungen der Trägerröhre so gewählt werden müssen, daß ihre im reinen B-Betrieb erzeugte HF-Leistung ein Viertel von  $\mathfrak{N}_{\max}$  (2) beträgt (Abb. 2 Punkt „C“) muß im Betrieb ihre negative Vorspannung gleich der statischen Sperrspannung sein. Dementsprechend ist auch der Scheitelwert der anzulegenden HF-Steuerspannung entsprechend geringer als der der Spitzenröhre, während der Außenwiderstand größer sein muß. Die Effektivleistung des Trägers ist dann

$$\mathfrak{N}_{\text{TR (eff.)}} = \frac{\mathfrak{I}_{\mathfrak{E}\mathfrak{d}\mathfrak{f}} \times \alpha U_A}{4}, \quad (7)$$

und für den Außenwiderstand der Trägerröhre ergibt sich ein Wert von

$$\mathfrak{R}_A (\text{Tr.R.}) = \frac{\alpha U_A}{\frac{\mathfrak{I}_{\mathfrak{E}\mathfrak{d}\mathfrak{f}}}{4}} = 4 \times \frac{\alpha U_A}{\mathfrak{I}_{\mathfrak{E}\mathfrak{d}\mathfrak{f}}}, \quad (8)$$

der damit das Vierfache dessen der Spitzenröhre betragen muß. Damit fließt im unmodulierten Zustand ein Anodengleichstrom von

$$I_A (\text{Tr.R.}) = \frac{\mathfrak{I}_{\mathfrak{E}\mathfrak{d}\mathfrak{f}}}{4} \begin{matrix} \text{HF-Mittelwert} \\ \times 0,636 \end{matrix} \quad \text{HF-Zeit} \quad \times 0,5 \quad (9)$$

$$\text{unmod.} = \mathfrak{I}_{\mathfrak{E}\mathfrak{d}\mathfrak{f}} \times 0,0797 \approx \mathfrak{I}_{\mathfrak{E}\mathfrak{d}\mathfrak{f}} \times 0,08 \quad (10)$$

und der Wirkungsgrad der Trägerröhre wird

$$\eta_{\text{unmod.}} = \frac{\mathfrak{N}_{\text{Tr (eff.)}}}{\mathfrak{N}_A (\text{Tr.R.})} = \frac{\frac{\mathfrak{I}_{\mathfrak{E}\mathfrak{d}\mathfrak{f}}}{4} \times \frac{\alpha U_A}{4}}{\mathfrak{I}_{\mathfrak{E}\mathfrak{d}\mathfrak{f}} \times 0,08 \times U_A} \quad (11)$$

$$\eta_{\text{unmod.}} = \frac{\alpha}{1,28} \approx \alpha \times 0,8 \quad (12)$$

Wird nun, wie es für den Betrieb zweckmäßiger ist, der Anodengleichstrom der unmodulierten Trägerröhre mit dem der sinusförmig voll ausgesteuerten Spitzenröhre verglichen, so ergibt sich aus (5) und (10)

$$I_A (\text{Sp.R.}) \approx 1,25 \times I_A (\text{Tr.R.}) \quad (13)$$

Was den Wirkungsgrad der Spitzenröhre anbetrifft, so erreicht dieser, da er von der hochfrequenten Spannungsausnutzung, ( $\alpha$ ), abhängig ist, den optimalen Wert  $\eta$  nur im Scheitelpunkt des positiven Modulationshalbwechsels. Sein zeitlicher Mittelwert ist

$$\eta (\text{Sp.R.}) = \eta (\text{Tr.R.}) \times 0,636 \quad (14)$$

unmod.

bzw.

$$\eta (\text{Sp.R.}) \approx \alpha \times 0,51 \quad (15)$$

Mit dem mittleren Wirkungsgrad der Spitzenröhre ist aber eine Handhabe gegeben, die mit einem Taylorsender erzielbare Leistung von der Anodenverlustleistung der Spitzenröhre her zu bestimmen. Wird daher bei angemessen hoher Anodenspannung ein Ausnutzungsfaktor  $\alpha$  von 0,8 bis 0,9 angenommen, so ergibt sich aus Gl. (15) ein mittl. Wirkungsgrad von 40 bis 45% und, da es sich um eine allgemeine Leistungsbilanz handeln soll, scheint es gerechtfertigt, auf 50% abzurunden, denn dann ergibt sich die maximal zulässige Anodenleistung der Spitzenröhre zu

$$N_A (\text{Sp.R.}) = 2 \times N_V (\text{Sp.R.}) \quad (16)$$

oder

$$\overbrace{I_A (\text{Sp.R.})}^{\text{Scheitelstrom}} \times 0,1 \times U_A = 2 \times N_V (\text{Sp.R.}) \quad (17)$$

woraus der Scheitelstrom  $\mathfrak{I}_{\text{Sd}}$  zu

$$\mathfrak{I}_{\text{Sd}} = \frac{2 \times N_V (\text{Sp.R.})}{0,1 \times U_A} = \frac{20 \times N_V (\text{Sp.R.})}{U_A} \quad (18)$$

resultiert. Dieser Wert in Gl. (2) eingesetzt ergibt dann für den vierfachen Trägerwert

$$\mathfrak{N}_{\text{max (eff)}} = \frac{20 N_V (\text{Sp.R.})}{U_A} \times \frac{\alpha U_A}{4} = 5 \times N_V (\text{Sp.R.}) \times \alpha, \quad (19)$$

woraus sich die Trägerleistung zu

$$\mathfrak{N}_{\text{Tr (eff)}} = \frac{5}{4} \times \alpha \times N_V (\text{Sp.R.}) \quad (20)$$

oder

$$\mathfrak{N}_{\text{Tr (eff)}} = 1,25 \times \alpha \times N_V (\text{Sp.R.}) \quad (21)$$

errechnet. Für einen Faktor  $\alpha$  von 0,9 würde die Trägerleistung einen Wert von

$$\mathfrak{N}_{\text{Tr (eff)}} = 1,25 \times 0,9 \times N_V (\text{Sp.R.}) \approx 1,1 N_V (\text{Sp.R.}) \quad (22)$$

und für  $\alpha = 0,8$  einen solchen von

$$\mathfrak{N}_{\text{Tr (eff)}} = 1 N_V (\text{Sp.R.}) \quad (23)$$

annehmen.



Ein Vergleich mit der normalen Gittermodulation, für die ein Wirkungsgrad von 33% zugrunde gelegt sein soll, und mit der Anodenmodulation, für die ein solcher von 75% angenommen wird, ergibt bei gleicher Anodenverlustleistung der Senderöhren, bzw. der Spitzenröhre folgendes Bild:

Gittermodulation:	$N_{Tr(eff)} = \frac{1}{2} \times N_V$
Taylormodulation:	$N_{Tr(eff)} = 1 \times N_V \text{ (Sp. R.)}$
Anodenspannungsmodulation:	$N_{Tr(eff)} = 2 \times N_V$

Um eine vernünftige Vergleichsbasis zu schaffen, wurde dabei von der Bedingung ausgegangen, daß in allen drei Fällen die Röhren im vollmodulierten Zustand nicht, oder, im Falle der Taylormodulation durch die vorherige Aufrundung bedingt, nur unwesentlich über ihre Anodenverlustleistung hinaus belastet sein sollen. Was die Taylormodulation anbetrifft, so sagt die vorstehende Bilanz jedoch noch nichts darüber aus, bei welcher Anodengleichspannung und bei welchem Spitzenstrom  $I_{\text{eff}}$  sich diese Verhältnisse realisieren lassen.

Ein anodenmodulierter Sender erreicht seine  $H_{\text{max(eff)}}$  entsprechende Spitzenleistung dadurch, daß im positiven Modulationsscheitel die Anodenspannung und der Anodenstrom, dieser durch gleichzeitige Modulation der Schirmgitterspannung, auf ihre jeweils doppelten Werte gebracht werden. Dementsprechend ist es daher auch für einen Taylorsender von ausschlaggebender Bedeutung, daß die Anodenspannung möglichst hoch, d. h. etwa in der Höhe der bei der Anodenspannungsmodulation erreichten Scheitelspannung gewählt wird. Dann läßt sich bei sonst normalen Betriebswerten die Spitzenröhre bis zu ihrer vollen Anodenverlustleistung ausnutzen. Wird ein Taylorsender jedoch mit einer wesentlich unter diesem Wert liegenden Anodenspannung betrieben, so müßte der Scheitelstrom unverhältnismäßig hoch getrieben werden, und die Ergebnisse sind dann erfahrungsgemäß wenig zufriedenstellend. In diesem Zusammenhang sei insbesondere darauf hingewiesen, daß für die Schirmgitterspannungen beider Röhren eines Taylorsenders in jedem Falle möglichst lastunabhängige Spannungsquellen, evtl. Stabilisatoren, verwendet werden müssen, da Widerstände in den Schirmgitterkreisen sowohl bei der Träger- als auch bei der Spitzenröhre der jeweiligen Modulationstendenz entgegenwirken.

Läßt man eine begrenzte Überlastung der Spitzenröhre zu und betreibt sie unter ICAS-Bedingungen, was auf Grund der Tatsache, daß die Spitzenröhre in den Sprechpausen gesperrt ist, zulässig scheint, so kann eine um etwa 50% höhere Trägerleistung erzielt werden. Die dadurch bedingte höhere Strombelastung der Röhre wird zweckmäßigerweise durch eine Erhöhung der Schirmgitterspannung der Spitzenröhre gegenüber ihrem Listenwert erreicht. Es ist allerdings dabei darauf zu achten, daß bei den meisten Röhren die Verlustleistung des Schirmgitters eher als die der Anode überschritten wird.

Es kann also zusammenfassend gesagt werden, daß sich bei richtiger Wahl der Betriebsbedingungen mit einem Taylorsender der beschriebenen Art eine Trägerleistung erzielen läßt, die wesentlich höher als die eines entsprechenden gittermodulierten Senders ist und nur etwa 25 bis 30% unter der eines anodenspannungsmodulierten Senders liegt.

# PATENT-ANMELDUNGEN und -ERTEILUNGEN

Die Zahlen und Buchstaben bedeuten in der

ersten Zeile (bei Patent-Anmeldungen): *Klasse, Unterklasse, Gruppe, Untergruppe, Aktenzeichen*;  
(bei Patent-Erteilungen): *Klasse, Unterklasse, Gruppe, Untergruppe, Patentrollennummer, Aktenzeichen*

zweiten Zeile (bei Patent-Anmeldungen): links — *Anmeldetag*, rechts — *Bekanntmachungstag*;  
(bei Patent-Erteilungen): *Beginn der Dauer des Patents*

dritten Zeile (bei Patent-Anmeldungen und -Erteilungen mit ausländischer Priorität): *Tag der Voranmeldung*

letzten Zeile (bei Patent-Anmeldungen): Zahl in ( ) = *Anzahl der Text- und Zeichnungsseiten*.

Die bei den Patent-Anmeldungen angeführten Namen sind die der Anmelder, nicht die der Erfinder, sofern nicht beide identisch sind; bei Patent-Erteilungen sind die Patentinhaber genannt.

## 1. Patent-Anmeldungen

- |  |   |  |
|--|---|--|
| 21a <sup>3</sup> , 3. Sch 8001   | 42b, 11. K 11 937   | 21a <sup>1</sup> , 35/20. T 2223   |
| 14. 11. 51 28. 8. 52   | 8. 11. 51 28. 8. 52   | 14. 6. 38 4. 9. 52   |
| G. Schaub GmbH; „Hochton-Kondensator-Lautsprecher“ (6)   | Dr. J. Krautkrämer u. H. Krautkrämer, Köln-Lindenthal; „Verf. u. Gerät z. Wandstärkemessg. m. Ultraschall-Impulsen“ (4)   | Telefunken Ges. f. drahtl. Telegraphie mbH; „Schaltungsanordng. z. Herstellg. eines sägezahnförm. Stromverlaufes in einer Spule“ (11)                    |
| 21a <sup>3</sup> , 5/01. p 29 181 D  |   |  |
| 31. 12. 48 28. 8. 52   |   |  |
| (Schweiz: 6. 8. 47)  | 42g, 10/01. L 9360  | 21a <sup>1</sup> , 36. T 5228  |
| Albiswerk Zürich AG; „Mikrofon m. Kohle-Elektroden“ (6)  | 19. 6. 51 28. 8. 52   | 13. 11. 41 4. 9. 52  |
|  | LICENTA Patent-Verwaltungs-GmbH; „Aufsprech- od. Aufsprech-Wiedergabe-Magnetisierungskopf z. störgeräuscharmen Magnetogrammaufzeichng.“ (6)   | Telefunken Ges. f. drahtl. Telegraphie mbH; „Schaltungsanordng. z. Unterdrück. v. kleinen parasitären Schwingg. b. d. Verstärkg. v. negat. Impulsen“ (5) |
| 21a <sup>3</sup> , 8. T 1785   |   |  |
| 15. 5. 42 28. 8. 52  | 42g, 16/01. T 672   | 21a <sup>4</sup> , 8/02. T 928   |
| Telefunken Ges. f. drahtl. Telegraphie mbH; „Piezoelekt. Schallumsetzungsgerät m. aus einer rechteck. Doppelplatte gebildet., piezoelekt. Element“ (4) | 31. 3. 50 28. 8. 52   | 26. 6. 39 4. 9. 52   |
|  | Tefi-Apparatebau Dr. Daniel KG; „Verf. z. Leitendmachen d. Schallschriftseite v. Originalschallbändern“ (3)   | Telefunken Ges. f. drahtl. Telegraphie mbH; „Einrichtg. z. selbsttät. Frequenzkonstanthaltg. eines Hochfrequenzsenders“ (8)                              |
| 21a <sup>3</sup> , 18/05. W 3452   |   |  |
| 6. 12. 37 28. 8. 52  | 42k, 34/04. G 3849  | 21a <sup>4</sup> , 9/01. L 4970  |
| (USA: 5. 12. 36)   | 9. 2. 42 28. 8. 52  | 17. 8. 40 4. 9. 52   |
| Western Electric Comp. Inc.; „Verstärk. m. negat. Rückkopplg.“ (7)   | Dr.-Ing. H. Goebbels, Stollberg; „Verf. u. Einrichtg. z. Überwachg. d. Dauer- bzw. Zeitfestigkeitszustandes ferro-magnet. Materialien durch Bestimmung d. Änderg. d. magnetoelast. Empfindlichkeit“ (7) | C. Lorenz AG; „Anordng. z. Erzeugg. v. elektr. Schwingg. ultrakurz. Wellenlänge mittels einer Elektronenröhre“ (7)                                       |
| 21a <sup>4</sup> , 15. T 2421  |   |  |
| 31. 3. 42 28. 8. 52  |   |  |
| Telefunken Ges. f. drahtl. Telegraphie mbH; „Als Blindwiderstand wirkende Röhrenschaltg. f. sehr kurze elektr. Wellen“ (7)                             |   |  |
|  |   |  |
| 21a <sup>4</sup> , 16/02. L 5112   | 21a <sup>1</sup> , 7/06. S 10 466   | 21a <sup>4</sup> , 15. L 4818  |
| 21. 10. 40 28. 8. 52   | 14. 5. 42 4. 9. 52  | 9. 12. 42 4. 9. 52   |
| C. Lorenz AG; „Schaltungsanordng. z. Erzeugg. v. Ultrakurzwellenimpulsen“ (5)  | Siemens & Halske AG; „Tonfrequenzsignalempfäng.“ (6)  | C. Lorenz AG; „Anordng. z. Beeinflussg. d. Resonanzfrequenz eines elektr. Schwingungskreises mittels einer Reaktanzröhre“ (6)                            |

21a<sup>1</sup>, 29/50. T 2649

10. 1. 44 4. 9. 52

Telefunken Ges. f. drahtl. Tele-  
graphie mbH; „Gitterbasis-  
schaltg. f. sehr kurze Wellen  
m. Trioden“ (6)

21g, 18/01. C 4361

20. 6. 51 4. 9. 52

(Frankr.: 27. 6. 50)

Commissariat à l'Energie Ato-  
mique; „Vorrichtg. z. Fest-  
stellen u. Anzeig. v. ionisierend.  
Strahlg.“ (7)

21g, 18/01. J 5107

24. 11. 51 4. 9. 52

(Schwed.: 6. 4. 50)

Järnhs Elektriska Aktiebolag;  
„Einrichtg. z. Messen v. ioni-  
sierend. Strahlg.“ (5)

21g, 34. B 8491

28. 11. 44 4. 9. 52

Blaupunkt-Werke GmbH; „Tief-  
paßfilter f. hochfrequente  
Schwingg.“ (4)

42s, —. S 10 141

3. 12. 42 4. 9. 52

Siemens-Reiniger-Werke AG;  
„Anordng. z. Vergrößerg. d.  
Sendefläche v. Ultraschallsen-  
dern“ (6)

21a<sup>1</sup>, 9/02. I 3096

2. 10. 50 11. 9. 52

(USA: 17. 11. 48)

International General Electric  
Comp. Inc.; „Oszillator z. Er-  
zeugg. einer od. d. anderen  
zweier nahe benachbart. Aus-  
gangsfrequenzen“ (20)

21a<sup>1</sup>, 32/54. I 4352

5. 7. 51 11. 9. 52

(USA: 7. 7. 50)

Interessengemeinschaft f. Rund-  
funkschutzrechte e. V. (IGR);  
„Verf. z. selbsttät. Korrektur  
d. Ablenkng. eines Katoden-  
strahls“ (28)

21g, 18/01. A 13 339

11. 5. 51 4. 9. 52

Aueres. AG; „Gerät z. Messg. v.  
radioakt. Strahlg.“ (5)

21a<sup>1</sup>, 33/51. E 2360

9. 6. 38 11. 9. 52

(Großbrit.: 9. 6. 37 u. 28. 3. 38)  
Electric & Musical Industries Ltd.;  
„Verstärkerschaltg. m. Gegen-  
kopplg.“ (9)

21a<sup>1</sup>, 36. S 7704

13. 9. 41 11. 9. 52

Siemens & Halske AG; „Anordng.  
z. Umwandlg. v. Impulsen in  
eine Impulsfolge halber Häufig-  
keit“ (14)

21a<sup>2</sup>, 18/01. S 24 056

20. 7. 51 11. 9. 52

Siemens & Halske AG; „Ein-  
richtg. z. Verminderg. d. Ab-  
hängigkt. d. Anodenverlust-  
leistg. einer Verstärkerendstufe  
v. Netzspannungsschwang.“  
(6)

21a<sup>4</sup>, 9/01. S 6752

30. 9. 40 11. 9. 52

Siemens & Halske AG; „Elektro-  
nenröhre z. Erzeugg., Verstär-  
kung u. Modulat. elektr.  
Schwingg.“ (7)

21a<sup>4</sup>, 24/01. P 4101

9. 8. 37 11. 9. 52

J. Pintsch KG; „Anordng. z.  
Fremdüberlagerungsempfang v.  
ultrahochfrequent. elektroma-  
gnet. Schwingg.“ (11)

21a<sup>4</sup>, 29/50. C 2903

30. 9. 50 11. 9. 52

(Frankr.: 9. 1. 47)

Comp. Générale de Télégraphie  
sans Fil; „Wanderfeldröhre,  
insb. z. Verstärkg. ultrahoch-  
frequent. Schwingg.“ (9)

42d, 10. p 29 344 D

31. 12. 48 11. 9. 52

(USA: 30. 12. 44)

General Aniline & Film Corp.;  
„Elektronenröhrenschaltg. z.  
im wesentl. linearen Messg.  
nichtlinearer Meßgrößen“ (20)

42g, 8/05. G 3577

26. 7. 30 11. 9. 52

The Gramophone Comp. Ltd.;  
„Vorrichtg. z. Aufzeichng. v.  
Schall“ (10)

42g, 10/01. A 13008

7. 3. 51 11. 9. 52

W. Assmann GmbH; „Vorrichtg.  
z. Löschen v. Schallaufzeichng.  
auf Magnetogramträgern“ (5)

42g, 18. A 5257

3. 11. 42 11. 9. 52

AEG; „Einrichtg. z. Aufzeichnen  
u. Abtast. magnet. Schallauf-  
zeichng.“ (5)

42s, —. S 11 846

5. 2. 45 11. 9. 52

Siemens-Reiniger-Werke AG;  
„Quarzsend. z. Erzeugg. v.  
Ultraschall“ (4)

21a<sup>1</sup>, 32/35. T 1182

19. 8. 35 18. 9. 52

Telefunken Ges. f. drahtl. Tele-  
graphie mbH; „Katoden-  
strahlbildabtaster“ (9)

21a<sup>1</sup>, 32/54. A 4845

15. 7. 32 18. 9. 52

AEG; „Elektronenstrahlröhre f.  
Tonfilm- u. Fernseh Zwecke“ (7)

21a<sup>1</sup>, 35/21. G 6212

31. 5. 51 18. 9. 52

M. Grundig; „Anordng. z. Syn-  
chronis. v. period. Kippspanng.“  
(5)

21a<sup>2</sup>, 2/02. S 11 967

6. 4. 45 18. 9. 52

Siemens & Halske AG; „Elektr.  
Schallumsetzungsgerät“ (5)

21a<sup>2</sup>, 5/01. S 22 227

7. 3. 51 18. 9. 52

Dr. H. Sell, Eßlingen/Neckar;  
„Einrichtg. z. Wiedergabe bzw.  
Anzeige v. Luftschallsignalen  
b. gleichzeit. stark. Störlärm“  
(3)

21a<sup>2</sup>, 16/03. K 5067

21. 12. 39 18. 9. 52

Klangfilm GmbH; „Lautsprecher-  
anordng. z. Übertrag. stereo-  
akust. Darbietg.“ (4)

21a<sup>2</sup>, 16/04. p 1817 B

10. 2. 49 18. 9. 52

Dipl.-Ing. G. Brauer, Berlin-  
Rudow; „Anordng. z. Verrin-



- gerg. d. linear. u. nichtlinear. Verzerrungen elektroakust. Energiewandler" (6)
- 21a<sup>3</sup>, 16/04. S 21 959  
22. 2. 51 18. 9. 52  
Siemens & Halske AG; „Elektroakust. Send., insb. f. d. Tonfrequenzband" (4)
- 21a<sup>3</sup>, 18/01. S 21 639  
24. 1. 51 18. 9. 52  
Siemens & Halske AG; „Gegentaktschaltg. z. Verstärkg. niederfrequent. Spanng." (6)
- 21a<sup>3</sup>, 18/02. S 24 077  
21. 7. 51 18. 9. 52  
Siemens & Halske AG; „Kathodenverstärker f. NF-Schwingg., vorzugsw. f. Fotozellenströme" (4)
- 21a<sup>3</sup>, 18/50. S 24 348  
8. 8. 51 18. 9. 52  
Siemens & Halske AG; „Einrichtg. z. Erzeugg. eines kontinuierl. Frequenzspektrums endlicher Bandbreite v. elektr. od. akust. Schwingg." (5)
- 21a<sup>3</sup>, 36/02. B 16 923  
26. 9. 51 18. 9. 52  
Blaupunkt-Werke GmbH; „Lautsprecheranlage m. Mikrofon" (5)
- 21a<sup>3</sup>, 36/02. S 24 734  
8. 9. 51 18. 9. 52  
Siemens & Halske AG; „Lautstärkeregeleinrichtg. f. elektroakust. Anlagen" (5)
- 21a<sup>4</sup>, 9/01. T 2248  
29. 11. 35 18. 9. 52  
Telefunken Ges. f. drahtl. Telegraphie mbH; „Magnetronröhre m. vier- od. mehrteil. Anodenzylinder" (7)
- 21a<sup>4</sup>, 29/50. C 2920  
30. 9. 50 18. 9. 52  
(Frankr.: 12. 6. 48)  
Comp. Générale de Télégraphie sans Fil; „Ultrakurzwellenschaltg., insb. Verstärkerschaltung, unt. Verwendg. einer Wanderfeldröhre m. einem Wellenleiter" (18)
- 21e, 29/01. S 7173  
24. 1. 42 18. 9. 52  
Siemens & Halske AG; „Elektr. Quotientenmeßgerät m. einem im Felde zweier gekreuzt. Spulen drehbar gelagert. Anker" (8)
- 42g, 8/01. p 9089 D  
1. 10. 48 18. 9. 52  
Siemens & Halske AG; „Einrichtg. z. übersteuerungsfreien Wiedergabe v. Schallaufzeichnungen" (6)
- 42g, 8/05. R 4329  
4. 10. 41 18. 9. 52  
(USA: 17. 10. 40)  
Radio Corp. of America; „Reintonsystem" (18)
- 42g, 8/05. R 4331  
4. 10. 41 18. 9. 52  
(USA: 19. 10. 40)  
Radio Corp. of America; „Verf. z. Herstellg. einer Tonaufzeichng. m. vermindert. Grundgeräusch" (17)
- 42g, 9/02. S 24 595  
27. 8. 51 18. 9. 52  
Siemens & Halske AG; „Lichtsteuergerät, vorzugsw. z. Tonaufzeichng." (5)
- 42g, 10/01. F 7654  
15. 11. 51 18. 9. 52  
Feuerland-Werkstätten E. Beilhack; „Verf. z. Mischen einer Magnettonaufzeichng. auf einem Ton-Träger m. einer od. mehreren Tonfrequenzen" (3)
- 42g, 10/01. Sch 6470  
27. 4. 51 18. 9. 52  
R. & G. Schmöle Metallwerke; „Verf. z. Messg. d. physikal. Eigenschaften v. ferromagnet. Tonträgern" (10)
- 42g, 10/02. B 14 157  
13. 3. 51 18. 9. 52  
E. Beyer; „Verf. z. Aufnahme u. Wiedergabe v. Tönen" (1)
- 42g, 13/02. K 6812  
28. 9. 50 18. 9. 52  
Klangfilm GmbH; „Verf. u. Einrichtg. z. Erzeugg. einer sichtb. Tonschrift, vorzugsw. auf einem Magnettonträger" (10)
- 42g, 10/02. L 2135  
22. 5. 50 18. 9. 52  
Loewe Opta AG; „Verf. z. Aufzeichng. magnet. Tonbild." (5)
- 42k, 46/06. U 1280  
4. 8. 51 18. 9. 52  
Ultrakust-Gerätebau; „Verf. z. opt. Darstellg. v. Schallfeldquerschnittsbildern" (5)

## 2. Patent-Erteilungen

- 21a<sup>1</sup>, 36. 853 764. H 5554  
24. 9. 50  
(USA: 19. 12. 46)  
Hazeltine Corp. „Schaltg. z. Erzeugg. einer Folge v. Impulsen"
- 21a<sup>1</sup>, 36. 854 231. p 28 987 D  
1. 1. 49  
(Schweiz: 18. 12. 45)  
„Patelhold" Patentverwertungs- & Elektro-Holding AG; „Verf. z. Erzeugg. zeitmodul. Impulsreihen"
- 21a<sup>1</sup>, 36. 854 373. p 28 944 D  
1. 1. 49  
(Schweiz: 17. 10. 47)  
„Patelhold"; „Einrichtg. z. Impulsphasenmodulat."
- 21a<sup>4</sup>, 24/01. 854 377. B 8676  
29. 11. 44  
Blaupunkt-Werke GmbH; „Überlagerungsempfäng. f. Anordng., b. denen d. Doppler-Effekt elektromagnet. Wellen ausgenutzt wird"
- 21e, 32. 853 771. p 4131 B  
10. 9. 49  
LICENTIA Patent-Verwaltungs-GmbH; „Verf. z. genauen absolut. Messg. v. Wechselströmen u. -spanng."
- 21g, 13/23. 854 976. C 3111  
3. 10. 50  
(Großbrit.: 16. 8. 39 u. 12. 7. 40)  
Cinema Television Ltd.; „Schaltanordng. z. magnet. Ablenkng. d. Elektronenstrahls einer Kathodenstrahlröhre od. einer ähnl. Elektronenentladungsröhre"

# HF-Technik als Helfer in der Physik

Bericht über den Deutschen Physikertag Berlin 1952

Die Physikertagung, die in diesem Jahr in Berlin stattfand, gab in 115 Referaten ein eindrucksvolles Bild von den gegenwärtig besonders aktuellen Problemen der Physik. Die Gebiete der Neutronenoptik — von Prof. O. Halpern, Pacific Palisades, Cal., vorgetragen —, der Physik der Sonne und der Radioastronomie, der Relativitätstheorie, der Festkörperphysik und der Regelungstechnik wurden besonders eingehend diskutiert. Den Referenten beeindruckte besonders die Beobachtung, wie in stets zunehmendem Maß fast alle Gebiete der Physik in ihrer meßtechnischen Erfassung elektrischer und HF-technischer Mittel bedürfen.

## Radio-Astronomie

Ein Beispiel dafür ist die Ergründung der Struktur des Sonnenballs, den man sich gegenwärtig als eine rotierende Masse von  $2 \cdot 10^{33}$  g Wasserstoff vorstellt. Nähere Kenntnis schafft man sich aus den Energieäußerungen, die durch die Radioastronomie festgestellt werden. Nach dem Vortrag von Prof. v. Kiepenheuer steht heute im Vordergrund die Ortung der räumlich und zeitlich veränderlichen Magnetfelder der Sonne. Im Zusammenhang mit den Sonnenflecken sind die Felder fest mit Materie verknüpft, aber es werden auch außerhalb der Sonnenflecken Magnetfelder beobachtet.

Durch Radarmessungen konnten Meteoritenschwärme beobachtet werden, die einen ausgedehnten Schweif von Elektronen hinter sich her ziehen. Sie wurden im Krieg als „falsche Alarmer“ bei der Ortung von Ferngeschossen beobachtet. Bei der Neuvermessung des Weltalls durch Meter- und Zentimeterwellen erreicht man allerdings kein sehr hohes Auflösungsvermögen. Es ist z. B. ein Grad, wenn bei einer Wellenlänge von 1 mm der Radio-Antennen-Spiegel einen Durchmesser von 60 m hat. Die Verfeinerung auf 1 Minute bedingt einen Durchmesser von 3,6 km und auf eine Sekunde von 200 km. Es werden daher z. Z. andere neuartige Antennenkombinationen erprobt. Eingehend wurde von Prof. Siedentopf die 21-cm-Strahlung der Milchstraße, die sich als ein Wechselspiel der Kräfte im Wasserstoffatom — Magnetwirkung des Protons und Spins des Elektrons — erweist. Im untersuchten Frequenzbereich ist im Gebiet des Taurus eine Strahlung entdeckt worden, die  $10^{13}$  mal stärker als die der Sonne ist. Prof. Baade-Pasadena, der über die „hellsten Radioquellen im Sternbild des Schwans und der Kassiopeia berichtete, kam auf seine bedeutendste Entdeckung auf Grund spektralanaly-

tischer Vermessungen zu sprechen, nämlich die Kollision zweier Milchstraßensysteme, die sich mit einer Geschwindigkeit von 7000 km/s durchdringen.

## Elektrische Klangerzeugung

Auf dem Gebiet der Elektroakustik ging Dr. R. Bierl-Trossingen auf die Problematik der elektrischen Musik ein. Vom Ästhetischen her sind die in der Musik auftretenden Ausgleichsvorgänge vom Einfluß des Schwingungserzeugers (Instrument) und von dem in der „Artikulation“ gegebenen Willen des Spielers zu betrachten. Der Vortragende, der ein selbstentwickeltes Instrument auf der Grundlage eines obertonreichen Generators mit nachgeschalteten Klangfiltern in der

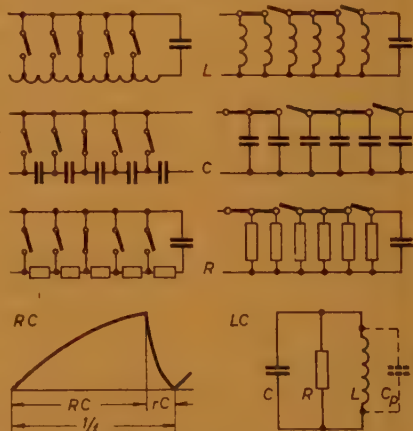


Abb. 1. Arten der Tonhöfenschaltung. Stimmungsfehlerursachen

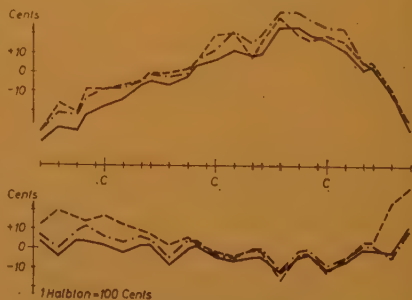


Abb. 2. Stimmungsfehler bei einem LC-Generator mit Oktavschtaltung

äußeren Form eines Akkordeons entwickelt hat, wies auf die sehr hohen Genauigkeitsanforderungen bei der Serienfertigung solcher Geräte hin, die besonders dann zu beachten sind, wenn nicht, wie bei elektronischen Orgeln, getrennte, festabgestimmte Generatoren für alle Frequenzen der Tonkala verwendet werden, sondern ein variabler Generator. Für den *RC*-Kreis lassen sich die musikalischen Forderungen der Tonhöhenabstufung mit der Möglichkeit der Oktavversetzung nicht ohne weiteres verwirklichen, da mit steigender Frequenz die Abklingzeit der Kippkurve sich nicht in gleichem Maße herabsetzen läßt (Abb. 1). Im Gegensatz dazu konnte auf der Grundlage eines *LC*-Generators eine gegenseitige Unabhängigkeit außerdem von der Reinstimmung, dem Vibrant ( $\Delta f/f$ ) und den Betriebsbedingungen erreicht werden. Aus Abb. 2 ist zu erkennen, welche Intonationsabweichungen bei einem *LC*-Generator mit Oktavschaltung gemessen wurden, wobei die obere Kurve zeigt, wie die theoretische Thomson-Formel unter Vernachlässigung der Dämpfung Abweichungen von mehr als  $\pm 20$  Cents aufweist. Die nachträgliche Abstimmungskorrektur der Schaltung ergab immer noch Intonationsabweichungen von  $\pm 5$  Cents.

### Elektrische Regelverstärker

Elektronenröhren führen sich, wie Prof. O. Mohr in seinem Vortrag darlegte, immer mehr in die Regeltechnik ein. In der Diskussion über den Leonard-Generator erweist es sich, daß der Verstärkungsgrad des Stellgliedes, nämlich des Feldes des Leonard-Generators, nicht sehr hoch ist. 5...10% der nutzbaren Leistung am Anker müssen für das Steuerfeld aufgewendet werden und erfordern bei größeren Antrieben großen Aufwand. Bei Speisung aus dem Drehstromnetz werden Gleichstrommotoren für Regelantriebe über Gleichrichter gespeist. Zur Gewinnung einer in ihrer Größe verstellbaren Gleichspannung aus einer Gleichrichteranordnung kann man den Transformator ohne Spannungsregelung ausführen, wenn man die Gleichrichterstrecke für Regelingriffe zugänglich macht. Dafür dienen steuerbare Entladungsstrecken mit Gasfüllung (Thyatron mit Toulonsteuerung, Ignitron). Dies ist eine Phasenregelung, bei der zur Erzeugung der Gitterspannungsimpulse der Entladungsgefäße übersättigte Transformatoren benutzt werden, die über Vordrosseln sinusförmig erregt werden. Ein zusätzlicher Gleichstrom (Steuerstrom) bewirkt eine Vormagnetisierung des Kerns des Steuertransformators, wodurch die Impulse phasenmäßig eine Vor- oder Nachverlegung erfahren. Damit wird die vom Gleichrichter gelieferte Spannung geregelt. Der gittergesteuerte Gleichrichter im Impuls-

zeuger wird somit zu einem Stellglied von sehr kurzen Eigenzeiten (eine Wechselstromperiode!) bei hohem Verstärkungsgrad. Es braucht allerdings als Steuerleistung einige Watt, weshalb Zwischenverstärker mit Elektronenröhren eingeführt werden. Trioden werden meistens vorgezogen; den Nachteil des großen Durchgriffs vermeidet man durch eine Rückkopplung über einen magnetischen Verstärker. Diese Anordnung erlaubt eine sichere und einfache Vergrößerung der Regesteilheit. Schaltungserweiterungen ermöglichen außer der Drehzahl- noch eine Strombegrenzungs-Regelung, ferner dynamische Bremsung und Umkehrantrieb. Besonders vorteilhaft ist es, daß nur ein nicht sehr empfindliches Regelrohr benötigt wird. Trotzdem ist es durch Aufteilung der Verstärkungsstufen gelungen, im Eingang des Geräts mit extrem hochohmigen Gebern (einige 100 kOhm) zu arbeiten. Deshalb kann der Sollwert auch durch Fotozellen, temperaturabhängige Widerstände und dergleichen festgelegt werden.

### Weitere Vorträge

K. Krebs und H. Meerbach, Berlin, erläuterten den für das Fernsehen wichtig gewordenen Mechanismus der Pendelvervielfachung von Sekundärelektronen. An der Begrenzungsfläche eines HF-Feldes werden — z. B. durch Photonen — Elektronen ausgelöst, die beim Auftreffen auf die gegenüberliegende Elektrode Sekundärelektronen erzeugen. Unter geeigneten Bedingungen, die zwischen dem Elektrodenabstand der Spannungsamplitude und der Frequenz einzuhalten sind, können die derart entstandenen Sekundärelektronen wieder auf die erste Elektrode gelangen und dort abermals Elektronen auslösen, wodurch die Vervielfachung lawinenartig anwächst. Die Rechnung zeigt, daß die an sich nur geringen Austrittsgeschwindigkeiten der Sekundärelektronen die Einsatzbedingungen für eine Pendelvervielfachung (wie kritische Feldstärken, Feldlängen und Frequenzen) wesentlich ändern können. Zur experimentellen Untersuchung wurde mit einem starken Sender ein Feld von 75 MHz zwischen Plattenelektroden aus verschiedenen Materialien und stetig veränderlichem Abstand im Vakuum erzeugt, und ein Teil der entstehenden, pendelnden Elektronenlawine wurde mit einer kleinen Ringanode zur Anzeige des Vervielfachungseffektes abgesaugt. Die Messungen ergaben eine gute Bestätigung der theoretischen Vorstellungen über den Mechanismus der Vervielfachung.

W. Berthold berichtete über seine mit R. Behne ausgeführten fotoelektrischen Farbmessungen an Fernseh-Leuchtschirmen, denen angesichts der Mängel bei der heutigen Schwarz-Weiß-Wiedergabe aktuelle Bedeutung zukommt. Weiterhin



## **FACHZEITSCHRIFTEN** **von hoher Qualität**

---

### **FUNK-TECHNIK**

Radio • Fernsehen • Elektronik

### **FUNK UND TON**

Monatsheft

für Hochfrequenztechnik und Elektroakustik

### **LICHTTECHNIK**

Beleuchtung • Elektrogerät • Installation

### **PHOTO-TECHNIK UND -WIRTSCHAFT**

Organ des Verbandes

der Deutschen Photograph. Industrie e. V.

### **KINO-TECHNIK**

Schmalfilmkino • Filmtechnik • Lichtspieltheater

### **MEDIZINAL-MARKT**

Fachblatt für medizinisch-technischen Bedarf

### **KAUTSCHUK UND GUMMI**

Zeitschrift für die Kautschuk- und Asbest-  
wirtschaft, Wissenschaft und Technik

Probeheft kostenlos

---

**VERLAG FÜR**

**RADIO-FOTO-KINOTECHNIK GMBH**

**HELIOS-VERLAG GMBH**

**BERLIN-BORSIGWALDE (Westsektor)**

wurde das Verfahren mitgeteilt, auf Grund der Farbortbestimmungen aus verschiedenen Leuchtstoffkomponenten eine weißleuchtende Mischung herzustellen. Der Einfluß der Raumbeleuchtung auf den Farbeindruck eines „weißen Leuchtschirms“ wurde diskutiert. Ferner wurden Verfahren für Farbortbestimmung der wichtigsten Lichtquellen für die Raumbeleuchtung bekanntgegeben.

Über die Laufzeit von Magnetverstärkern für Regelzwecke berichtete H. Matuschka, Karlsruhe. Die Stellzeit eines Reglers beeinflusst bei Überschreitung gewisser Grenzen die Güte des Regelergebnisses. Genauigkeit und Stellzeit bestimmen ihrerseits die zulässige Zeitkonstante des Reglers. Die Zeitkonstante eines Magnetverstärkers liegt in der unvermeidlichen Selbstinduktion von Ein- und Ausgangskreis; sie kann durch die Frequenz der Speisespannung, durch Dimensionierung der Kreise, Anwendung von Rückkopplung und Rückführung sowie Kaskadierung beeinflusst werden. Bei der Kaskadierung ergeben sich Probleme der Gleichrichtung und Aufteilung der Zeitkonstanten auf die einzelnen Stufen. Die Notwendigkeit der optimalen Dimensionierung auf Leistung, Verstärkung oder Empfindlichkeit sowie der technische Aufwand erfordern Kompromisse, und die Frequenz der verfügbaren Speisespannung ist meistens nicht frei wählbar. Daraus ergeben sich Grenzen der Anwendung von Magnetverstärkern in der Regeltechnik. *Dr. Fritz Winckel*

*(Das Referat über den Vortrag Dr. H. Severin: „Flächenwiderstände in der Zentimetertechnik“ folgt in der nächsten Ausgabe.)*

## **BUCHBESPRECHUNG**

R. E. Blaise:

### **Applied Electronics Annual 1952**

British-Continental Trade Press Ltd.,  
22, Strand, London, W.C. 2, England

(Auch zu beziehen über Continentale Werbung  
GmbH., Hamburg 36, Poststraße 10)

180 × 240 mm, 240 Seiten, in Leinen gebunden,  
£ 2 (einschl. Versandkosten)

Ein typischer Vertreter der Devise „Für jeden etwas“ ist das *Applied Electronics Annual 1952*, dessen Vorgänger eine würdige Besprechung in FUNK UND TON Nr. 5 [1951] erfuhr. AEA 1952 stellt sich wiederum als ein (gutes) internationales Variété vor, bei dem u. a. Radio, Fernsehen, Elektronik und Nachrichtentechnik das Programm bilden und Hersteller, Großhändler und Importeure von Radio- und elektronischem Gerät, von Einzel-

teilen, Werkstoffen und einschlägiger Ausrüstung die Darsteller sind. Der Herausgeber dieses „*International Year Book & Directory for Radio & Electronics*“ mag sich durch den auf 240 Seiten beschränkten Umfang des Buches in seinem klar erkennbaren Bestreben, den internationalen Stand der erwähnten Techniken und der aus ihnen resultierenden Wirtschaft lückenlos darzulegen, beengt gesehen haben. Um so anerkennenswerter für den Verfasser und um so erfreulicher für den Besitzer des *Annual* ist es daher, daß in ihm 12 gute Beiträge (hier auch über Elektroakustik) geboten werden, bevor sich der Hauptteil des Buches mit seinen Kapiteln vorstellt: Verbände und Fachblätter der Industrie und des Handels (international) und Welt-Adressenverzeichnis (Fabrikanten, Großhändler, Zubehör, Marken- und Handelsnamen, Bezugsquellen). Die gute Gliederung des vielen, das das *Annual* zu sagen hat, macht die Schwäche des auf nur zwei Seiten gestützten Stichwortverzeichnisses wieder nahezu voll wett. Das außer auf englisch, französisch und spanisch auch auf deutsch einführende Inhaltsverzeichnis weist denen unseres Sprachgebietes den Weg durch das englisch geschriebene Buch, „ohne das (behauptetermaßen!) zu sein sich niemand leisten kann, der mit Radio und Elektronik zu tun hat“, die etwa DM 23,50 berufsgebunden anlegen und der z. Z. devisenaufnahmefähigen British Economy zukommen lassen wollen.

M. G. Scroggie:

### Foundations of Wireless

Verlag: Iliffe & Sons, Ltd., Stamford Street,  
London, S. E. 1.

5. Aufl., 314 Seiten, in Leinen gebunden 12 s 6 d  
(etwa DM 7,50)

Bedenken, daß der Markt selbst an guten Büchern über die Grundlagen der Hochfrequenztechnik gesättigt sei, zerstreut dieses von den elementaren Prinzipien bis zum Fernsehen und Radar greifende Buch zumindest wegen des netten Stils, dessen sich der gern gelesene Verfasser bedient. Er liefert mit seinem Werk den hier einmal recht überzeugend geführten Beweis, daß ein Gebiet selbst vom Schwierigkeitsgrad der HF fast ohne mathematisch-technische Vorbelastung weit über das Elementare hinaus durchgearbeitet und ohne Verstimmung verdaut werden kann. Sollte es nicht diese Feststellung sein, welche die Leser dieser Zeitschrift interessiert, so dürfte der Hinweis auf den von den Foundations gebotenen Vergleich von englischen Radiofachwörtern mit denen im amerikanischen Sprachgebiet gebräuchlichen rechtfertigen, auf diesen Besteller auch die Aufmerksamkeit von Wissenschaftlern zu lenken.

## INDUSTRIELLE ELEKTRONIK

VON DR. REINHARD KRETZMANN

Umfang 232 Seiten mit 234 Abbildungen  
in Ganzleinen gebunden Preis DM 12,50

Dieses Fachbuch gibt Aufschluß über die bedeutenden Fortschritte, die mit Hilfe der Elektronenröhre in ihrer verschiedenartigsten Form bei der Verbesserung, Verfeinerung und Rationalisierung von industriellen Fertigungsprozessen erzielt wurden.

Eine interessante Darstellung der wichtigsten in der Industrie benutzten elektronischen Relais, Anlagen und Einrichtungen, ergänzt durch die Schilderung des qualitativen Ablaufs der Vorgänge in den zur Verwendung kommenden Röhren, vermittelt dem Leser die Erkenntnis der grundsätzlichen Wirkungsweise und der Funktion elektronisch arbeitender Hilfsmittel.

Von mathematischen Ableitungen ist nur an wenigen Stellen Gebrauch gemacht, dagegen wurde großer Wert auf eine beträchtliche Anzahl von instruktiven Abbildungen elektronischer Geräte und Schaltbeispiele mit Angaben der elektrischen Werte gelegt.


Dr. Reinhard Kretzmann, der Verfasser dieses Buches, ist einer der bekanntesten Fachleute für industrielle Elektronik in Deutschland. Sein Werk ist eine Arbeit aus der Praxis und dient dem HF-Techniker als Unterlage für neue Aufgaben auf diesem Gebiet, und auch dem Betriebsingenieur, dem hiermit wertvolle Anregungen zur Modernisierung und Leistungssteigerung des ihm unterstellten Maschinenparks gegeben werden.

Zu beziehen durch Buchhandlungen  
andernfalls durch den Verlag

**VERLAG FÜR  
RADIO-FOTO-KINOTECHNIK GMBH**

BERLIN-BORSIGWALDE (Westsektor)





**HOCH-, TIEF- und BANDPÄSSE  
BANDSPERREN und WEICHENFILTER**

Umschaltbare Oktav- und Terzband-  
pässe. Ringkern- und andere Über-  
trager für hohe Ansprüche auch nach  
vorgegebenen Daten.

Verlangen Sie unseren Filterprospekt

**WANDEL u. GOLTERMANN**  
RUNDfunk- UND MESSGERÄTE REUTLINGEN/WÜRTT.

## *Aus unserem Programm!*

- UKW - Fernsehmeßsender M 612
- Breitband - Leistungs - Wobbler M 615
- Impedanz - Meßgerät M 616
- Richtleiter - Voltmeter M 619

**TECHNISCHES LABORATORIUM**  
**KLAUS HEUCKE • VIERNHEIM / HESSEN**